

Guimarães • Piqueira • Carron

Física

Mecânica

Manual do Professor

1

Física - Ensino Médio

editora ática

Guimarães • Piqueira • Carron

Física

Mecânica

Manual do Professor

Osvaldo Guimarães

Bacharel em Física pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP). Pós-graduado em Ciência Cognitiva pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Pós-graduado em Teoria de Campos e Mecânica Quântica pelo Instituto de Física Teórica (IFT-SP). Mestre em História da Ciência pela PUC-SP. Doutor em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da USP. Pós-doutorado em Propulsão Nuclear pela Escola Politécnica da USP. Pesquisador da Escola Politécnica da USP. Especialização em Controle de Reatores Nucleares pela Universidade de Barcelona.

José Roberto Piqueira

Doutor em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Livre-docente em Controle e Automação pela Escola Politécnica da USP. Engenheiro eletricista pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Professor titular e diretor da Escola Politécnica da USP.

Wilson Carron

Licenciado em Física pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (USP). Mestre em Energia Nuclear aplicada à agricultura pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba (SP). Especializado em Eletricidade pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos (SP). Professor e gestor aposentado da rede pública de ensino.

1

2ª EDIÇÃO

SÃO PAULO • 2016

editora ática

Física - Ensino Médio

editora ática

Diretoria editorial
Lidiane Vivaldini Olo

Gerência editorial
Luiz Tonolli

Editoria de Matemática e Física
Ronaldo Rocha

Edição
Alexandre Braga D'Avila

Gerência de produção editorial
Ricardo de Gan Braga

Arte
Andréa Dellamagna (coord. de criação),
Erik TS (progr. visual de capa e miolo),
André Gomes Vitale (coord. e edição)
e Casa de Tipos (diagram.)

Revisão
Hélia de Jesus Gonsaga (ger.),
Rosângela Muricy (coord.), Ana Curci,
Célia da Silva Carvalho, Claudia Virgilio
e Vanessa de Paula Santos;
Brenda Morais e Gabriela Miragaia (estagiárias)

Iconografia
Sílvio Kligin (superv.), Denise Durand Kremer (coord.),
Carlos Luvizari, Claudia Bertolazzi e Evelyn Torrecilla (pesquisa),
Cesar Wolf e Fernanda Crevin (tratamento de imagem)

Ilustrações
Adilson Secco, Antonio Robson, Formato Comunicação,
Luis Moura, Maspi, Mauro Nakata, Moisés Gonçalves,
Paulo Manzi, Pedro Hamdan e Soud

Cartografia
Eric Fuzii, Márcio Souza

Foto da capa: Tubos e máquinas que fazem parte
da estrutura interna de um prédio.
Great Art Productions/Getty Images

Protótipos
Magali Prado

Direitos desta edição cedidos à Editora Ática S.A.
Avenida das Nações Unidas, 7221, 3º andar, Setor A
Pinheiros – São Paulo – SP – CEP 05425-902
Tel.: 4003-3061
www.atica.com.br / editora@atica.com.br

2016

ISBN 978 85 08 17949 7 (AL)
ISBN 978 85 08 17950 3 (PR)
Cód. da obra CL 713352
CAE 566 221 (AL) / 566 222 (PR)

2ª edição
1ª impressão

Impressão e acabamento

EDITORA AFILIADA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Guimarães, Osvaldo
Física / Osvaldo Guimarães, José Roberto Piqueira, Wilson Carron. -- 2. ed. -- São Paulo : Ática, 2016.

Obra em 3 v.
Conteúdo: V.1. Mecânica -- v.2. Física térmica, ondas e óptica -- v.3. Eletromagnetismo e física moderna
Bibliografia.

1. Física (Ensino médio) I. Piqueira, José Roberto. II. Carron, Wilson. III. Título.

16-02125 CDD-530.07

Índices para catálogo sistemático:

1. Física : Ensino médio 530.07

APRESENTAÇÃO

Caro aluno,

Em um dos seus livros, Richard Feynman (1918-1988) ironiza uma explicação do século V a.C. sobre os raios:

> *"Veja como os deuses, com seus raios, sempre golpeiam os maiores animais e não se importam com os menores. Como também seus raios sempre caem sobre as casas e as árvores mais altas. Desse modo, eles adoram esmagar tudo o que se mete a besta".*

Nessa mesma época, a Filosofia grega propunha um grande desafio: usar puramente a razão e não aceitar como explicação dos fenômenos do mundo que nos cerca qualquer intervenção sobrenatural. Assim nasceu a Filosofia natural, que hoje chamamos de Ciências Naturais, que não se opõe à crença espiritual de cada um, nem ao sobrenatural, apenas diz que não devemos invocar deuses para a explicação dos fenômenos do mundo, e considera as tecnologias e os aparelhos artificiais criados pelo ser humano como parte do mundo natural.

Assim como nossos antepassados, a Ciência passou por muitas dificuldades em seus mais de 2 500 anos e sobreviveu muitas vezes por um triz. Acompanhou a evolução da informação e sua distribuição, motivando as pessoas a perguntar, descobrir e aprender.

Para entender a importância das ciências na civilização, basta olhar para trás. Um pequeno ferimento infeccionado poderia ser fatal, e uma viagem intercontinental demorava meses. Em menos de três séculos, passamos por uma evolução rápida, na qual criamos soluções para o nosso bem-estar, e sabemos que ainda existe uma grande caminhada para trilhar.

A Física faz parte dessa evolução das Ciências Naturais. Ela busca compreender, prever ou até mesmo controlar o comportamento da matéria no espaço e no tempo.

Nossa missão com esta obra é levar a Física até você. Mas como fazer isso? A resposta não é muito fácil, mas podemos, apoiados em nossa experiência, incluir alguns caminhos: trabalhar os fenômenos naturais envolvidos, descritos e explicados, agregando a linguagem, a escrita, a razão, a lógica e a matemática.

Parece complicado, mas com o passar do tempo você notará que o conhecimento que vem sendo construído há mais de dois milênios pode – e deve – ser conhecido e valorizado por você.

Quanto ao futuro, Feynman nos alerta: se você achou engraçada a explicação sobre os raios de 2 500 anos atrás, imagine o que dirão daqui a mil anos sobre as explicações que temos hoje.

Os autores


Christian Mueller/Shutterstock

Conheça seu livro

Dividimos os volumes em quatro Unidades para facilitar o uso.
Em cada Unidade você vai encontrar as seguintes seções/boxes:

Abertura de Unidade e abertura de capítulo

Cada volume da coleção é dividido em quatro Unidades temáticas. O tema de cada capítulo é apresentado com uma imagem e um breve texto de introdução.



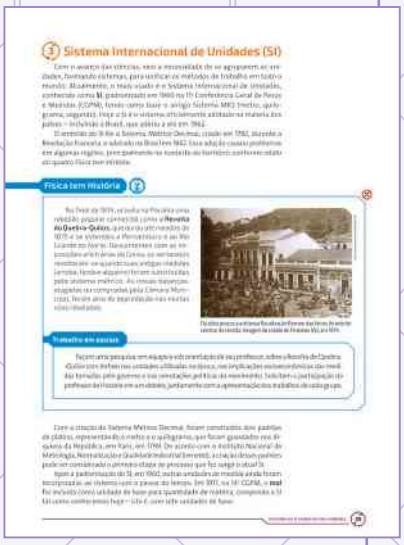
Trabalho em equipe

Envolve atividades práticas e pesquisas, com o objetivo de promover discussões e compartilhar informações.



Física explica

Ciência pura ou aplicações tecnológicas, inseridas no dia a dia do ser humano ou que explicam a natureza.



Física tem História

Apresenta elementos tecnológicos, políticos, sociais e culturais de um momento do desenvolvimento da Física.



Exercícios

Uma grande quantidade de exercícios resolvidos e exercícios propostos para concretizar ideias e fixar os conceitos estão distribuídos no decorrer do livro.



Em construção

Biografia de um personagem importante para a Física.



Para refletir

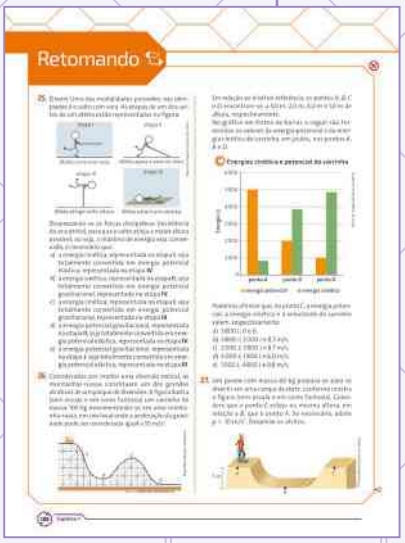
Questão geradora de reflexão, tem como objetivo ressaltar conhecimentos prévios sobre o assunto.

Glossário

Explicação de palavras e termos incomuns no dia a dia do aluno.

Retomando

Problemas e questões de testes e de vestibulares para retomar conceitos ao final de cada capítulo.





Compreendendo o Mundo

Textos que trabalham a interdisciplinaridade para explicar fenômenos naturais.

Trabalho com o texto

Questões que orientam a interpretação do texto.

Pesquise e...

Propõe atividade de pesquisa e discussão para aumentar os conhecimentos sobre determinado assunto e compartilhar informações em grupo.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Atenção! Ainda que se peça "Assinale", "Indique", etc. em algumas questões, nunca escreva no livro. Responda a todas as questões no caderno.

Sumário

Unidade 1: Apresentação da Física

CAPÍTULO 1
Física: uma ciência da natureza 11

1. Organização do conhecimento 12
2. Como a Física estuda os fenômenos 13
3. Uma lei física 15
   A importância da Matemática na Física 17
4. Física: uma presença na História 19
   Ciência e tecnologia 20
5. Finalizando 22

CAPÍTULO 2
Grandezas e sistemas de unidades 24

1. A importância das medições e das unidades 25
2. Notação científica 27
3. Sistema Internacional de Unidades (SI) 29
4. Medidas de comprimento, área e volume 31
5. Medidas de massa e de tempo 33
6. Ordem de grandeza e estimativas 37



Martin Leissl/Bloomberg/Getty Images

Unidade 2: O estudo dos movimentos

CAPÍTULO 3
Movimentos em uma dimensão 43

1. Um pouco da história dos movimentos 44
2. Localização 46
3. Movimento, repouso e trajetória 49
   Trajetória 49
4. Espaço, deslocamento e velocidade 50
   Velocidade 51
5. Aceleração 54
   Aceleração escalar 55
6. Movimento uniforme (MU) 57
7. Movimentos acelerados 61
   Movimento uniformemente variado (MUV) ... 62
8. Queda livre 65
   Lançamento vertical 68



Pincasso/Shutterstock/Glow Images

CAPÍTULO 4
Movimentos em duas dimensões 73

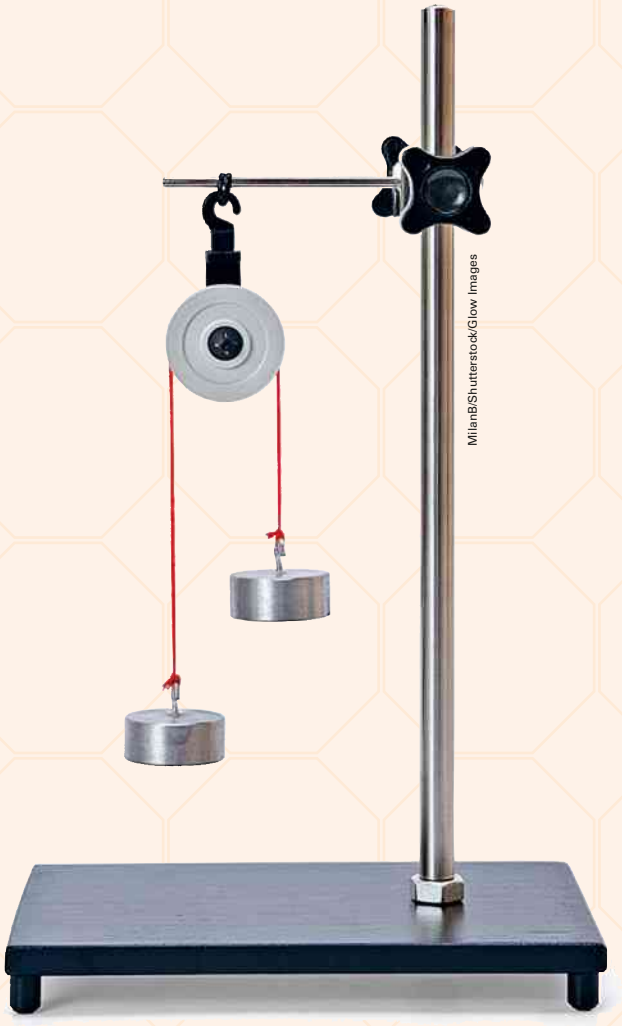
1. Grandezas escalares e grandezas vetoriais 74
2. Operações com vetores 76
   - Adição de vetores 76
   - Subtração de vetores 79
3. Deslocamento vetorial e velocidade vetorial 80
4. Aceleração vetorial 82
   - Aceleração tangencial e aceleração centrípeta 83
5. Movimentos circulares 85
   - Movimento circular e uniforme (MCU) 86
   - Movimentos concêntricos e transmissão de MCU 86
6. Lançamento de corpos (projéteis) 91
   - Lançamento oblíquo 91
   - Lançamento horizontal 95

CAPÍTULO 5
As leis de Newton para os movimentos 100

1. Conceito de força 103
   - Interações fundamentais 104
2. Força peso e força de contato 105
   - Interação de campo 105
   - Interação de contato 106
   - Força normal 107
   - Força de atrito 107
3. Força de tração e força elástica 109
   - Força de tração 109
   - Força elástica 110
4. Primeira lei de Newton 112
   - Os referenciais inerciais 115
5. Segunda lei de Newton 116
6. Terceira lei de Newton 119

CAPÍTULO 6
Aplicações das leis de Newton 125

1. Corpos em movimento horizontal 126
2. Elevadores 129
3. Polia fixa e polia móvel 132
   - Vantagem mecânica 133
4. Plano inclinado 134
5. Resistência do ar 136
6. Trajetórias curvas 138
   - Trajetórias curvas em planos horizontais 139
   - Trajetórias curvas em planos verticais 142
   - Globo da morte 143



MilanB/Shutterstock/Glow Images

Unidade 3: Energia e as leis da conservação

CAPÍTULO 7
Energia, trabalho e potência 151

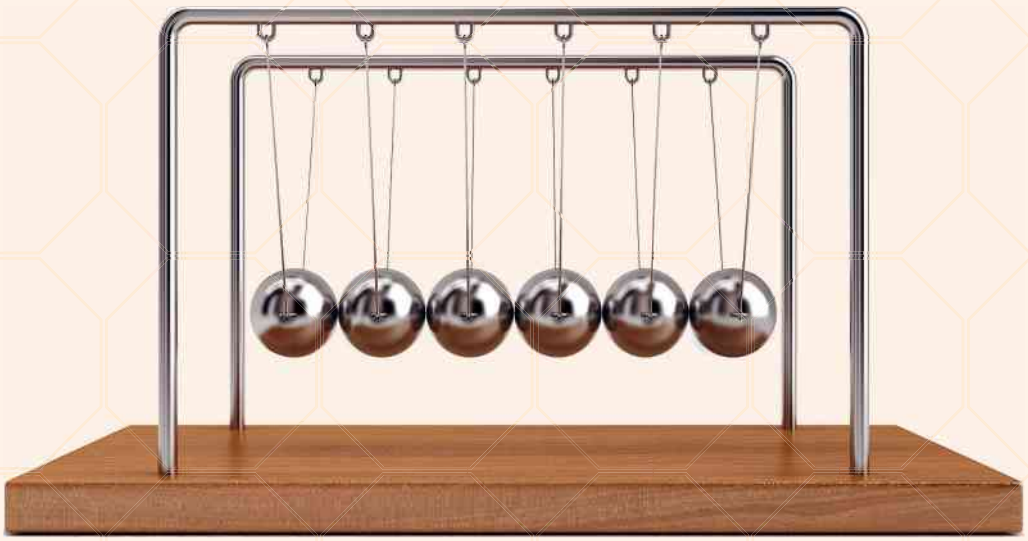
1. Formas de energia 152
   - Energia mecânica 153
   - Energia química 154
   - Energia térmica 155
   - Energia elétrica 155
   - Energia solar 156
   - Energia luminosa 156
   - Energia sonora 157
   - Energia nuclear 157
   - Unidades de energia 159
2. O trabalho de uma força 160
3. Potência mecânica e rendimento 164
   - *Horse power* e cavalo-vapor 165
4. Energia mecânica: cinética e potencial 167
   - Energia cinética 167
   - Teorema da energia cinética 169
   - Energia potencial 169
5. Sistemas mecânicos conservativos e sistemas mecânicos não conservativos 174

CAPÍTULO 8
Quantidade de movimento 182

1. Quantidade de movimento linear 183
2. Impulso de uma força 186
   - Teorema do impulso 186
3. Sistemas isolados 188
4. Centro de massa 190
5. Colisões 193
   - Classificação dos choques 195
   - Choque oblíquo 196
6. Inércia rotacional 198
   - Torque 201
7. Momento angular e sua conservação 203

CAPÍTULO 9
O Sistema Solar e a Terra 208

1. Modelos planetários 209
   - Sistema Solar 210
2. As leis de Kepler 211
   - Primeira lei de Kepler: a lei das órbitas 211
   - Segunda lei de Kepler: a lei das áreas 212
   - Terceira lei de Kepler: a lei dos períodos 213
   - Asteroides e cometas 214
3. Os movimentos da Terra 215
   - As estações do ano 216
4. Gravitação universal 218
   - Campo gravitacional 219
5. Órbitas 222
   - Órbita circular 222
   - Órbitas elípticas 223
6. A energia mecânica e as trajetórias 225
   - Velocidade de escape 225



Ali Ender Birer/Shutterstock/Glow Images

Unidade 4: O ser humano e as máquinas

CAPÍTULO 10
Estática dos corpos rígidos – Máquinas simples 233

1. O equilíbrio do corpo rígido 234
   - Tipos de equilíbrio 235
   - Corpos simplesmente apoiados 236
   - Momento de uma força 237
2. Máquinas simples 241
   - Alavancas 242
3. Alavancas do corpo humano 247

CAPÍTULO 11
Fluidos 254

1. Densidade e pressão 255
   - Pressão 255
2. Pressão nos fluidos 258
   - Lei de Stevin 260
3. Medidores de pressão 262
   - Manômetro 262
   - Barômetros 263
4. Vasos comunicantes e prensas hidráulicas 265
   - Prensa hidráulica 266
5. Princípio de Arquimedes 269
   - Flutuação 270
6. Hidrodinâmica 272
   - Equação de Bernoulli 273

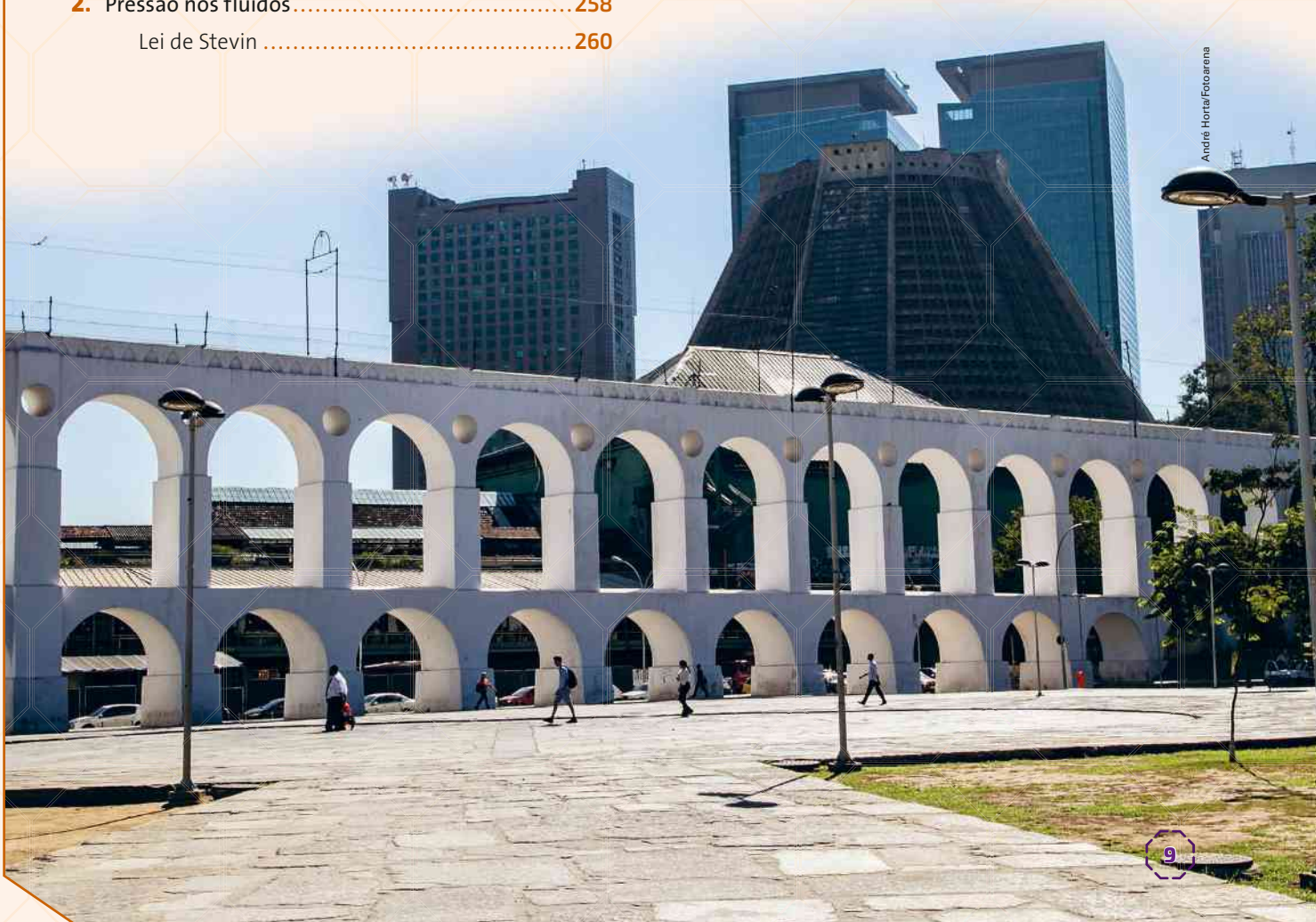
Respostas 282

Siglas de vestibulares 285

Sugestões de leitura e *sites* 286

Bibliografia 287

Índice remissivo 288



André Horta/Fotoarena

UNIDADE 1

Apresentação da Física

CAPÍTULO 1

Física: uma ciência da natureza

Professor, veja comentários, orientações e sugestões sobre este capítulo no Manual do Professor.

Moisés Gonçalves/Arquivo da editora



Que situações envolvendo fenômenos físicos e tecnologia você observou ao ler a tirinha? Você acha que foi necessário Pedro possuir conhecimentos de Física para perceber tais situações? Que respostas você imagina que ele vai encontrar estudando Física?

1 Organização do conhecimento

Na tirinha da página anterior, observam-se diversos ramos do conhecimento humano. A temperatura do ar, a altitude e a velocidade do avião, os raios X, a detecção de metais, a tensão elétrica na tomada e o som são alguns exemplos de conceitos e fenômenos estudados em Física, uma das chamadas **Ciências Naturais**. Notam-se também situações ligadas a outros saberes, como a culinária (o lanche), a sétima arte (o filme), a literatura e o conhecimento histórico (El Cid), algumas das quais serão abordadas em outras disciplinas.

No século IV a.C., na Grécia antiga, o estudo dos fenômenos naturais – também denominado *physiké* (do grego), do qual deriva a palavra latina *physica* – era conhecido como **Filosofia natural**. E qual era o objetivo da Filosofia natural? Compreender, descrever, prever e, se possível, controlar o comportamento da matéria ao longo do tempo e do espaço. Nessa concepção, toda matéria e espaço constituíam o mundo natural. O estudo do mundo natural, assim, abrangia um campo muito vasto.

No período que se seguiu ao Renascimento (a partir do século XV), o objeto de estudo da antiga Filosofia natural foi sendo diversificado. Primeiramente, separou-se o estudo da matéria inanimada e dos seres vivos, dando origem à Biologia. Posteriormente, o estudo da matéria dividiu-se em Química, que cuida dos fenômenos em que há alterações nas substâncias, e Física, que se preocupa com o restante.

Como o objeto de estudo da Física – comportamento da matéria no espaço e no tempo – compreende uma extensa variedade de fenômenos, foi um processo natural a divisão desse ramo do conhecimento em outras áreas:

- **Mecânica** – relaciona as forças que agem nos corpos com seus movimentos;
- **Física térmica** – aborda os fenômenos térmicos em geral (figura 1.1);
- **Óptica** – estuda a energia luminosa e suas interações com a matéria;
- **Física ondulatória** – estuda as ondas e a Acústica (figura 1.2);
- **Eletromagnetismo** – estuda os fenômenos relacionados simultaneamente à eletricidade e ao magnetismo;
- **Física moderna** – ramo da Física que no século XX revolucionou o estudo dos movimentos, da energia e da matéria, entre outras implicações, como avanços na Medicina (figura 1.3).

Hoje, no entanto, essa classificação não é tão rígida. A expansão do conhecimento nos trouxe novos campos de estudo, que envolvem diferentes áreas, como a Biomecânica, a Radioatividade e a Bioquímica.

Além das Ciências Naturais, temos as Ciências Humanas, como a História, a Sociologia e a Geografia.

Pavel Lysenko/Shutterstock



Figura 1.1 O motor a combustão funciona baseado em fenômenos da Física térmica, enquanto o movimento da moto é descrito pela Mecânica.

Alenavlad/Shutterstock



Figura 1.2 A luz (Óptica) e o som (Acústica) são estudados pela Física ondulatória.

adriaticfoto/Shutterstock



Figura 1.3 A radioterapia é um tratamento médico baseado em fundamentos de Eletromagnetismo e Física moderna.

Exercícios

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Pesquise, em livros, revistas e na internet, a atual classificação das diversas ciências e construa um diagrama. Após sua pesquisa, reúna-se com os colegas e o professor e, utilizando esse diagrama, discuta a respeito da diversidade científica e de como as inovações do século XX aproximaram diversos campos da ciência. Veja resposta no Manual do Professor.

2. Veja a definição de alguns termos, segundo os dicionários da língua portuguesa:

- Arco-íris: arco luminoso resultante da refração e da reflexão dos raios solares nas gotículas de água suspensas na atmosfera, em geral provenientes de chuva.
- Fotossíntese: processo pelo qual as plantas e certas espécies de bactérias e protistas sintetizam compostos orgânicos a partir de matéria-prima inorgânica (água e dióxido de carbono da atmosfera), utilizando como fonte de energia a luz solar, que é absorvida e convertida em energia química pelos pigmentos (clorofilas e carotenoides).
- Ozônio: variedade alotrópica do oxigênio (O_3), que se forma na alta atmosfera por reações fotoquímicas.

Quais dessas definições se encaixam em uma única área da ciência (Física, Química ou Biologia) e quais envolvem diferentes áreas ao mesmo tempo? Veja resposta no Manual do Professor.

3. No começo do século XIX, acreditava-se ser impossível obter matéria orgânica somente com reagentes inorgânicos, pois presumia-se que a matéria orgânica possuía algo denominado "força vital", ausente na matéria bruta. No entanto, em 1828, o alemão Friedrich Wöhler (1800-1882) conseguiu sintetizar ureia – um composto orgânico – a partir de matéria bruta, contestando o conhecido vitalismo. Em que ramo da ciência podemos situar a descoberta de Wöhler? Bioquímica.

4. Liste no caderno alguns procedimentos práticos que você domina e utiliza no dia a dia, mesmo sem nunca ter estudado Física, como pular uma poça de água ou chutar uma bola de futebol para atingir determinado ponto. Que ramo da ciência pode explicar e ampliar cada procedimento que você listou? Respostas pessoais. Exemplos: Física, Biologia e esportes.

5. Escreva no caderno o nome de alguns instrumentos de medição. Entre eles, quais você considera que necessitaram de conhecimentos físicos para serem construídos? Respostas possíveis: fita métrica, voltímetro, termômetro, hodômetro, entre outros.

2 Como a Física estuda os fenômenos

A Física costuma ser dividida em Física clássica e Física moderna.

- **Física clássica**: construída até o fim do século XIX, baseia-se sobretudo no método científico de Galileu Galilei (figura 1.4).
- **Física moderna**: iniciou-se no século XX e possui um método de construção diferente do científico em diversos sentidos e mais abrangente que ele.

Estudar a natureza com um método, que se revelou tão valioso na Matemática, parecia ser um projeto humano decisivo para a compreensão e/ou a descrição dos fenômenos naturais em nosso Universo. No século IV a.C., Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.) deu um grande passo nesse sentido, embora suas suposições tenham sido derrubadas séculos mais tarde, à luz de novos conhecimentos.

Qual deve ser o ponto de partida desse estudo? As suposições que podem ser verificadas por experiências. Esse é o ponto de partida da Física clássica.



Erich Lessing/Album/Latinstock

Figura 1.4 Retrato de Galileu Galilei (1564-1642).

SPL/Latinstock

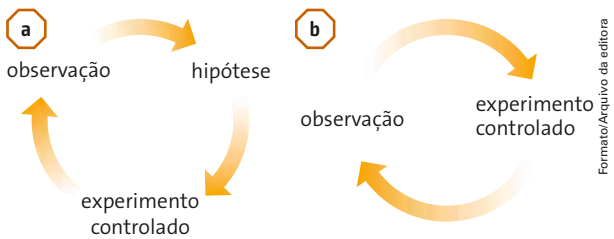


Figura 1.5 Roger Bacon (1214-1294).

No século XIII, período em que um grande fluxo de textos do mundo árabe revolucionava a vida intelectual do Ocidente europeu, Roger Bacon (figura 1.5) propôs a observação da natureza e a experimentação como fundamentos do conhecimento natural. Ele descreveu o **método científico** como um ciclo composto de **observação**, **hipótese**, **experimentação** e **verificação independente**. Bacon registrava, com detalhes precisos, de que maneira conduzia seus experimentos, a fim de que outros pudessem reproduzi-los e testar os resultados.

Também conhecido como *Doctor Mirabilis* (em português, 'Doutor Admirável'), Roger Bacon foi um dos mais famosos frades franciscanos de seu tempo. Seus estudos na Óptica geométrica possibilitaram a invenção dos óculos, que se mostraram imprescindíveis para a criação do telescópio quase três séculos depois.

A figura 1.6 mostra o esquema do método proposto por Roger Bacon: observação, formulação de hipóteses e experimentação controlada, tudo isso aliado à verificação independente.



Formato/Arquivo da editora

Figura 1.6 O ciclo de Roger Bacon, ladeado pela verificação independente.

Suponhamos, por exemplo, que uma pessoa esteja fazendo dieta para emagrecer. Todos os dias bem cedo, ainda em jejum, ela mede sua massa na primeira balança que encontra. Se a cada dia ela estiver vestida de uma forma diferente, a massa das roupas utilizadas poderá provocar variações nas medidas; assim não é possível determinar "com precisão" a variação da massa dessa pessoa. Além disso, balanças diferentes podem não estar igualmente calibradas. Portanto, do ponto de vista da Física, esse experimento não terá um bom controle. Entretanto, se todos os dias a pessoa for, em jejum, à mesma balança, com roupas e calçados sempre de mesma massa, o experimento estará mais controlado, possibilitando um bom monitoramento da eficiência da dieta.

SPL/Latinstock

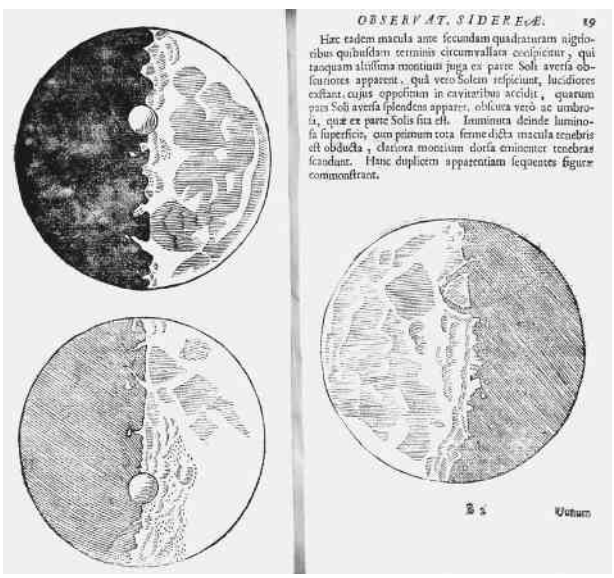


Figura 1.7 Reprodução das ilustrações de Galileu mostrando fases da Lua observadas por meio de um telescópio.

Mas somente no século XVII, graças a Galileu Galilei, o método proposto por Roger Bacon foi divulgado em muitas aplicações concretas, com base na observação, na condução de experimentos controlados e no registro detalhado dos resultados (figura 1.7). O trabalho de Galileu assumiu, nessa época, um caráter verdadeiramente científico. Talvez seja esse o motivo pelo qual Galileu divida com Roger Bacon na acepção histórica a paternidade do método científico.

Com o desenvolvimento da ciência no século XX, tivemos de conceber uma nova maneira de pensar a natureza. Muitas vezes precisamos questionar sobre as alterações que causamos na experiência, os conceitos envolvidos e o contexto social em que ela está inserida, entre outros fatores. (Essa abordagem será mais aprofundada com o estudo da Física contemporânea.)

Em geral, as ciências procuram explicar, descrever e compreender seus objetos de estudo utilizando a Lógica. Por exemplo, se você sabe que todo carioca é brasileiro e também sabe que João é carioca, pode concluir, então, que João é brasileiro.

> [...] a lógica não é o conhecimento teorético nem prático de nenhum ser, de nenhum objeto. O que é a lógica? Como indica o termo grego que foi dado ao conjunto dos escritos lógicos de Aristóteles, *Órganon*, a lógica é um instrumento do pensamento para pensarmos corretamente. Não se referindo a nenhum ser, a nenhuma coisa, a nenhum objeto [material], a lógica não se refere a nenhum conteúdo, mas à forma ou às formas de pensamento ou às estruturas do raciocínio em vista de uma prova ou de uma demonstração.
>
> CHAUI, Marilena. *Introdução à história da Filosofia*. 2. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2002. p. 357.

Embora a Lógica seja o instrumento do bem pensar, precisamos de pontos de partida para construir um raciocínio. Não podemos concluir o que quer que seja a partir do nada.

Em Física, as premissas iniciais são denominadas **princípios**. Quando quantificados matematicamente, estes são chamados de **leis**. As conclusões que se obtêm amparadas nesses fundamentos são os **teoremas**. Essa seria a classificação formal. Na história da Física, porém, algumas leis ou princípios foram reconhecidos como teoremas bem depois de terem sido enunciados, a partir do momento que puderam ser demonstrados com base em outras premissas.

Trabalho em equipe

Sob a orientação do professor, reúnam-se em grupo para pesquisar as ideias de um destes pensadores: Karl Popper, Thomas Kuhn, Stephen Toulmin, Paul Feyerabend, Humberto Maturana e Mario Bunge.

Procurem apresentar as diferenças e as semelhanças entre o método científico e o método do pensador pesquisado.

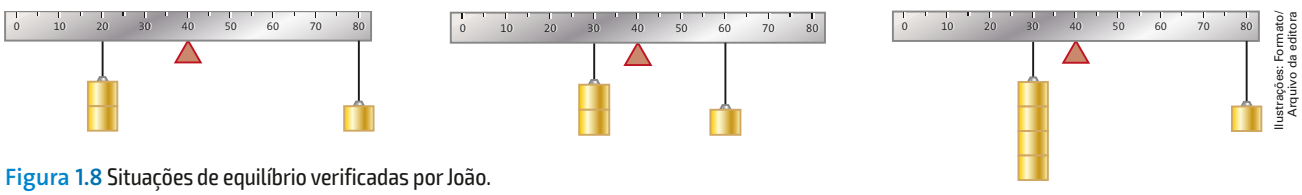
3 Uma lei física

Veja sugestão de encaminhamento desse tópico no Manual do Professor.

Vejamos um exemplo concreto da elaboração de uma **lei física**. É um exemplo bastante simples, mas ilustrativo, para que possamos entender o processo. Utilizando corpos de massa 100 g cada, João verifica algumas situações de equilíbrio de uma **barra homogênea** com 80 cm de comprimento, apoiada em seu ponto médio, conforme mostrado na figura 1.8.

João repete o experimento três vezes, variando a quantidade de corpos e também a posição na qual eles são dependurados na barra. Existe alguma regra que seja comum a todas as situações de equilíbrio?

Barra homogênea – Barra que apresenta as mesmas propriedades em toda a sua extensão. No procedimento descrito, a propriedade que interessa é o fato de que a massa se distribui uniformemente pela barra.



Ilustrações: Formato/Arquivo da editora

Figura 1.8 Situações de equilíbrio verificadas por João.

Veja resposta no Manual do Professor.

Para refletir

A lei física estabelecida por João é válida se a barra homogênea não for apoiada em seu ponto médio?

Os exemplos sugerem que o conjunto dependurado em um ponto mais afastado do ponto médio deve ter massa total menor que o dependurado em um ponto mais próximo. Observando com um pouco mais de atenção, vemos que, nas situações de equilíbrio, o produto da massa pela distância de cada um deles ao ponto médio da barra é sempre igual. Essa conclusão foi induzida pelos experimentos realizados por João, mas, como foram analisados apenas três casos, não temos certeza de que ela vale sempre. Embora o indutivismo não tenha uma sustentação forte, consistente, logicamente falando, ele é de suma importância na fase da elaboração das hipóteses (para a formulação de leis e princípios).

João se atreve, então, a enunciar uma lei física:

$$m_1 \cdot d_1 = m_2 \cdot d_2$$

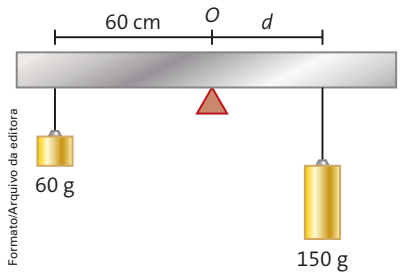


Figura 1.9 Para que a barra permaneça em equilíbrio, qual deve ser o valor da distância *d*?

Nessa expressão, João faz uso de símbolos, esclarecendo que *m* simboliza a **massa** e *d* a **distância**. Além disso, ele estabelece que o índice 1 se refere ao conjunto pendurado à esquerda do ponto médio da barra e o índice 2, ao conjunto à direita desse ponto.

João observa que a lei funciona nos três casos experimentados, mas será que funciona sempre?

Por maior que seja o número de experimentos que venha a fazer, ele nunca terá certeza absoluta. É impossível esgotar todas as possibilidades de combinações entre os corpos e as respectivas distâncias ao ponto médio da barra.

Essa é uma característica das ciências. A cada novo experimento, aumenta a confiança em determinada teoria, mas fica sempre em aberto a possibilidade de algum dia, em alguma situação, essa teoria ser aprimorada ou até mesmo substituída por outra, mais abrangente. No entanto, existe uma maneira de aumentar a confiança na lei enunciada: fazer uma previsão.



Figura 1.10 Balança de braços iguais.

João utiliza sua "lei da alavanca", por exemplo, para prever a solução do problema da **figura 1.9**, em que a barra deve permanecer em equilíbrio. Ou seja, ele consegue determinar a que distância *d* do ponto médio da barra deve ser posicionado o corpo de 150 g quando, a 60 cm à esquerda do ponto médio, está pendurado um corpo de massa 60 g:

$$m_1 \cdot d_1 = m_2 \cdot d_2 \Rightarrow 60 \cdot 60 = 150 \cdot d \Rightarrow d = 24 \text{ cm}$$

Em seguida, ele faz o experimento colocando o corpo de massa 150 g a 24 cm do ponto de apoio *O*. Com isso, ele verifica que a barra de fato permanece em equilíbrio, confirmando sua previsão.

De fato, a lei que João descreveu existe e é conhecida como **lei da alavanca**. Apesar da simplicidade dessa lei e da alta precisão dos atuais instrumentos de medida, ela é aplicada, por exemplo, em balanças de dois braços, como a da **figura 1.10**.

Vamos supor, agora, que os colegas de João não conheçam a lei da alavanca. Nesse caso, ele terá de redigir um texto ilustrado, expondo seu experimento e os respectivos resultados. Essa é uma característica importante das Ciências Naturais: os experimentos descritos devem ser, tanto quanto possível, reprodutíveis. Dessa forma, os que lerem o artigo de João devem ser capazes de reproduzir o experimento e verificar a validade da lei, nas condições que ele apresenta.

Trabalho em equipe

Redijam um texto ilustrado sobre a lei da alavanca e apresentem para os colegas de outras classes.

A importância da Matemática na Física

Veja a leitura adicional "A Matemática e a natureza" no Manual do Professor.

Vamos aproveitar o exemplo da lei da alavanca para mostrar dois aspectos da importância da Matemática para a Física.

O primeiro deles refere-se à simplicidade. Podemos enunciar a lei da alavanca dizendo que o produto da massa suspensa à esquerda do apoio central pela distância desse apoio ao ponto de suspensão é igual ao produto da massa colocada à direita pela distância de seu ponto de suspensão ao apoio central. Embora correto, esse enunciado pode ser expresso de outras maneiras, visando simplificar a comunicação.

Como dissemos, João enunciou sua "lei da alavanca" utilizando símbolos:

$$m_1 \cdot d_1 = m_2 \cdot d_2$$

Para expressar sua lei dessa maneira, ele só precisou ter o cuidado de estabelecer precisamente qual é o significado de cada um dos símbolos utilizados.

O segundo aspecto refere-se à manipulação e à análise da lei. Se a lei estiver escrita matematicamente, as ferramentas da álgebra nos possibilitam uma grande diversidade de operações. Por exemplo, sabendo a razão entre as massas, podemos obter a razão entre as distâncias; ou, conhecendo as massas e uma das distâncias, podemos obter a outra distância; e assim por diante.

Física tem História

Veja comentários e resposta da atividade para esta seção no Manual do Professor.

O cometa Halley

Em 1682, um vistoso cometa, apresentando longa cauda, surgiu na esfera celeste. Edmond Halley, astrônomo britânico, observando as sucessivas posições do cometa e usando a lei da gravitação universal proposta por seu amigo Isaac Newton, pôde calcular o período desse cometa, ou seja, o intervalo de tempo entre duas visualizações desse astro no céu. Halley afirmou, então, que outro cometa, avistado em 1607, não era de fato outro: era o mesmo. E também era o mesmo de 1531. Quando perguntaram a Halley como ele podia afirmar que era o mesmo cometa, ele respondeu: "Porque eu calculei!".

Mais tarde, aprimoramentos no cálculo de Halley possibilitaram determinar os anos exatos da aparição desse cometa no passado, permitindo datar documentos históricos que faziam menção ao seu aparecimento, fosse por meio de ilustrações, fosse por meio de textos, até 240 a.C. A última passagem do cometa Halley próximo ao planeta Terra ocorreu em 1986. Nessa ocasião, em vez de uma longa cauda, o cometa apresentava um halo, que lembrava uma cabeleira. A próxima aparição do cometa será em 29 de julho de 2061.

- Qual é a importância da Matemática na determinação do período do cometa por Edmond Halley?



Album/akg/North Wind Picture Archives/Latinstock

Edmond Halley (1656-1742).



Bettmann/Corbis/Latinstock

Cometa Halley em sua aparição de 1986.



Mario Viola/Futura Press

Figura 1.11 A ponte pênsil de São Vicente, localizada no litoral do estado de São Paulo (SP), foi construída em 1914. Foto de 2012.

Quando olhamos esbeltas estruturas suportando telhados gigantescos, os finos suportes dos trens de pouso de um avião, o minúsculo pino que interliga uma carreta de 30 toneladas com o cavalo mecânico, os modestos fios de alta-tensão transferindo grandes quantidades de energia, é possível que nos ocorra a seguinte pergunta: como podem essas estruturas tão singelas aguentarem tamanha carga?

Se a pergunta for dirigida aos técnicos, engenheiros e especialistas que projetaram essas estruturas, a resposta será muito parecida com a de Halley: "Porque nós calculamos!".

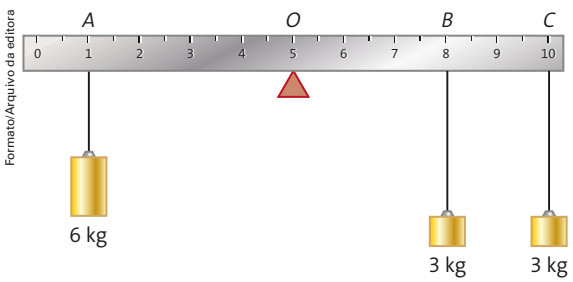
A ponte pênsil de São Vicente (**figura 1.11**) foi a primeira ponte desse tipo no Brasil. Trata-se de um bom exemplo do esforço da engenharia para obter estruturas leves e resistentes.

Em geral, a Matemática utilizada na Física do Ensino Médio é razoavelmente simples, mas imprescindível para quem duvida de resultados prontos. A história da ciência mostra que a Matemática foi uma peça-chave empregada pelos renascentistas, que a invocaram para se libertar de várias concepções mais antigas.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Exercícios

6. A alavanca homogênea representada na figura seguinte está em equilíbrio, apoiada sobre o ponto *O*. As massas dos corpos fixados nos pontos *A*, *B* e *C* da alavanca são, respectivamente, 6,0 kg, 3,0 kg e 3,0 kg.



Formato/Arquivo da editora

a) Se o corpo dependurado no ponto *B* for retirado e outro corpo for dependurado em *C*, qual deverá ser o valor da massa desse outro corpo para que a barra permaneça em equilíbrio? $m = 1{,}8$ kg

b) Se o corpo dependurado no ponto *C* for retirado e outro corpo for dependurado em *B*, qual deverá ser o valor da massa desse outro corpo para que a barra permaneça em equilíbrio? $m = 5$ kg

c) Analisando os três casos, compare as massas totais de cada lado da alavanca. As massas dependuradas do lado direito e do lado esquerdo do ponto de apoio da alavanca são iguais?

7. (UFV-MG) Um rapaz de 90 kg e uma garota de 45 kg estão em uma gangorra. Das ilustrações a seguir, a que representa uma situação de equilíbrio é:

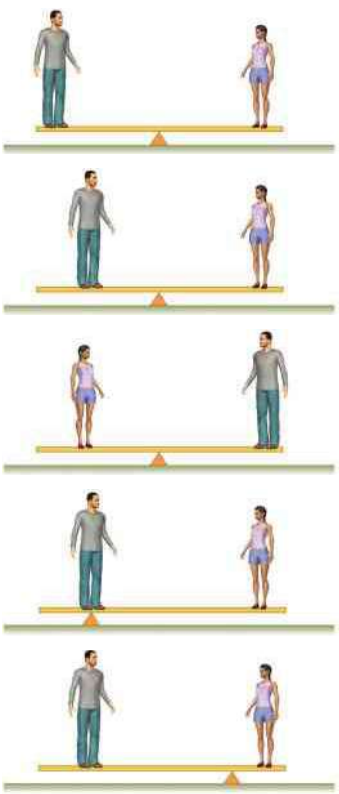
a)

X b)

c)

d)

e)



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

6. c) Veja resposta e comentários no Manual do Professor.

4 Física: uma presença na História

A primeira universidade só foi criada no século IX, em Salerno, no sul da Itália, e restringia-se ao curso de Medicina. Somente dois séculos depois surgiu a Universidade de Bolonha, também na Itália, e mais um século se passou para que surgissem as universidades de Paris, na França, e de Oxford, na Inglaterra.

A expectativa média de vida das pessoas, naquela época, era muito baixa. Um simples corte infeccionado poderia ser letal. Aglomerados urbanos eram os palcos prediletos para a propagação de doenças. Na **figura 1.12**, temos a representação da devastação e do horror causados pela peste negra na Europa. Surtos de diferentes pestilências dizimavam vilas inteiras. Um momento difícil também para a educação e a produção científica.



Pieter Brueghel the Elder/Museu do Prado, Madri, Espanha.

Figura 1.12 *O triunfo da morte*, pintura do belga Pieter Bruegel (1525-1569). Museu do Prado em Madri, na Espanha.

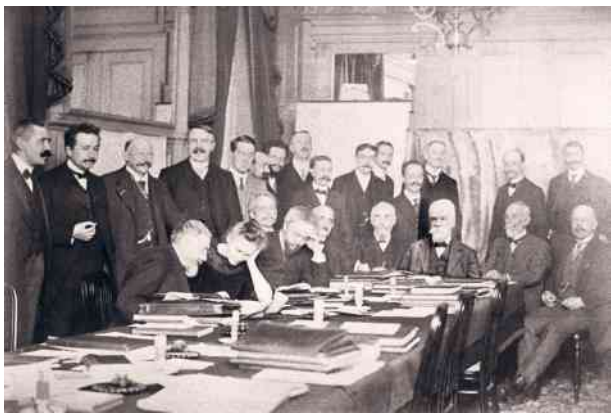
Somente no fim do século XV ocorreu uma feliz conjunção de fatores – entre eles, o surgimento das universidades e a descoberta do papel e da imprensa. Depois do primeiro livro impresso, em 1455, mais de 30 mil **incunábulos** já circulavam ao fim daquele século, no início do Renascimento. Tudo isso contribuiu para a preservação dos registros do conhecimento humano e, consequentemente, para o desenvolvimento da ciência.

Incunábulo – Livro impresso que data dos primeiros tempos da imprensa até o ano de 1500.

A escrita possibilitara à humanidade registrar e transmitir sua história, suas descobertas e criações. O papel trouxera uma morada acessível, duradoura e barata para a escrita. A imprensa possibilitara a difusão das obras em grande quantidade e com rapidez. E, então, o que faltava? Faltavam leitores. No início do Renascimento, ainda era pequena a parcela da população alfabetizada.

Em seu livro *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton* (em livre tradução, *Nunca em repouso: uma biografia de Isaac Newton*), Richard S. Westfall (1924-1996) relata quão difícil foi para Isaac Newton (1643-1727), um dos mais notáveis físicos ingleses da História, chegar a uma universidade. A relutância de sua mãe, proprietária rural, em enviá-lo a Cambridge tinha como argumento a inutilidade do que ele iria aprender para a fazenda da família, além do tempo que ele iria dedicar aos seus estudos. Nessa perspectiva, nem mesmo Isaac Newton foi um homem livre para se dedicar à ciência: foi a intervenção de um tio, porém, que conhecia as aptidões do menino e seu profundo desejo de aprender, que levou Newton a Cambridge.

A partir do século XVII, os avanços na Física foram-se sucedendo, com grande impacto nas tecnologias. A Mecânica de Newton passou por diversos aperfeiçoamentos no século XVIII, e suas leis passaram a integrar os projetos de máquinas e equipamentos. Ao longo dos séculos XVIII e XIX, ampliaram-se profundamente os conhecimentos de Eletricidade, Magnetismo, Termodinâmica, Óptica, Ondas, Mecânica dos fluidos e outros ramos da Física.



Prof. Peter Fowler/SPL/Latinstock

Figura 1.13 Conferência patrocinada por Solvay, em 1911, na cidade de Bruxelas, Bélgica. Na foto estão presentes os físicos Einstein, Planck, Solvay, Lorentz, De Broglie, Madame Curie, entre outros.

O século XX destacou-se por seus avanços no conhecimento da estrutura da matéria e da dinâmica das altas energias (**figura 1.13**). Com o desenvolvimento da teoria da relatividade e da Mecânica quântica, surgiram inovações tecnológicas que hoje inundam nosso cotidiano, como a TV com monitor de cristal líquido, o LED, os *chips* de computadores, o telefone celular, os robôs, a injeção eletrônica para automóveis, os diagnósticos por ressonância magnética e a televisão digital, para citar apenas alguns exemplos.

Ciência e tecnologia

Podemos entender **tecnologia** como o domínio de técnicas, processos, métodos, meios e instrumentos com aplicações nas atividades humanas. Em nossos dias, quando pensamos em tecnologia, é quase inevitável virem à nossa mente aplicações do conhecimento científico. De fato, essa é uma parte da verdade. Os progressos da ciência foram incorporados em várias áreas, como na de medicamentos, de engenharia, de diagnósticos, computação, próteses, robótica, alimentação, vestuário, transporte, etc.

As imagens desta página não estão representadas em proporção.



bibiphoto/Shutterstock

Figura 1.14 Aparelho de ressonância magnética sendo usado para realização de exame médico.

Para a obtenção de diagnósticos clínicos mais precisos, são utilizados aparelhos como o de ressonância nuclear magnética (**figura 1.14**), em que são empregados campos magnéticos para gerar imagens de alta definição de órgãos do corpo humano.

A cada dia, *chips* e processadores diminuem de tamanho e têm aumentada a sua capacidade de processar e gerenciar informações (**figura 1.15**).

Os aviões usados no transporte de passageiros são cada vez maiores (para acomodar mais e mais passageiros) e com enorme autonomia (para cobrir maiores distâncias sem escalas). O avião da **figura 1.16** transporta até 845 passageiros e tem autonomia de 14 800 km, o que equivale à distância entre as cidades de São Paulo, no Brasil, e Nova Délhi, na Índia.

Outra parte da verdade em relação à tecnologia se refere a coisas muito simples, de inestimáveis impactos na civilização e que não provieram da ciência.

No livro *Infinito em todas as direções*, o físico e matemático inglês Freeman Dyson (1923-) fornece-nos alguns exemplos de tecnologias simples, mas decisivas na história da civilização. Vamos comentar três delas.



Andrey_Popov/Shutterstock

Figura 1.15 Os *tablets* são bons exemplos de elementos eletrônicos que utilizam circuitos eletrônicos com *chips* de tamanho cada vez menor.



Martin Leissl/Bloomberg/Getty Images

Figura 1.16 Avião usado para transporte de passageiros.

O primeiro exemplo é o feno. Não se sabe quem descobriu uma importante utilidade para ele, ou seja, a ideia de cortar o capim no outono e armazená-lo em quantidades suficientes para manter os cavalos e as vacas vivos durante o inverno. A tecnologia do feno (figura 1.17) emergiu anonimamente durante a Alta Idade Média (séculos V a IX), período marcado pela formação da sociedade feudal. Dyson ressalta:

> O Império Romano não precisava do feno porque, no clima mediterrâneo, o capim cresce suficientemente bem no inverno para permitir a pastagem dos animais. Ao norte dos Alpes, sem o feno não era possível a existência de grandes cidades dependentes de cavalos e bois para força motriz. Portanto, foi ele que permitiu o crescimento das populações e o florescimento das civilizações entre as florestas da Europa setentrional. O feno transferiu a grandeza de Roma para Londres e Paris e, mais tarde, para Berlim, Moscou e Nova York.
>
> DYSON, Freeman. *Infinito em todas as direções*. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.



Album/Oronoz/Latinstock

Figura 1.17 *O carro de feno*, pintura do holandês Hieronymus Bosch. Óleo sobre tela, datada de 1500-1502. Museu do Prado, em Madri, Espanha.

As imagens desta página não estão representadas em proporção.

O segundo exemplo é a roda de fiar (figura 1.18), uma invenção chinesa que parece ter chegado à Europa no século XIII.



Diego Velazquez/Album/akg-images/Latinstock

Figura 1.18 *As fiandeiras*, pintura do espanhol Diego Velásquez (1599-1660) datada de 1657. Museu do Prado, em Madri, Espanha.

Esse invento provocou a rápida expansão da manufatura e do comércio têxtil, particularmente do linho. Como consequência direta e imediata, houve uma queda de preços e o aumento do uso de camisas, lençóis e toalhas. Mas os resultados indiretos tiveram importância ainda maior. O linho barato acarretou o acúmulo de trapos. Trapos baratos fizeram com que o papel se tornasse mais barato que o pergaminho. Desse modo, no fim do século XIII, a grande maioria dos manuscritos era redigida em papel de linho.

A partir desse segundo exemplo, Dyson nos leva para a terceira invenção tecnológica decisiva para a civilização: a imprensa (figura 1.19).

> [...] Havia mais papel do que os escribas da Europa podiam cobrir com sua caligrafia. Estava aberta a oportunidade para um livreiro empreendedor de Mainz [Gutenberg – 1450] livrar-se dos escribas e usar máquinas para grafar palavras no papel. Desse modo, a invenção da roda de fiar abriu o caminho para a invenção da prensa tipográfica.
>
> DYSON, Freeman. *O infinito em todas as direções*. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

Há tecnologias provenientes da ciência; há ciências que derivaram da tecnologia, como a teoria sobre as máquinas térmicas ou a luneta de Galileu. Há, também, a tecnologia, como a do feno, que é simplesmente tecnologia, e a ciência que é simplesmente ciência, pelo menos por enquanto, como as pesquisas sobre a origem do Universo.



Arquivos Históricos Ralf Feltz/Interfoto/Latinstock

Figura 1.19 Ilustração de época da prensa de Johannes Gutenberg (c. 1398-1468), datada de cerca de 1440.

Exercício

8. a) Resposta pessoal. Exemplos: liquidificadores, fogão a gás, micro-ondas, telefone, luz elétrica, computadores, relógios, etc.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

8. A tecnologia pode tanto ser um instrumento de paz, trazendo melhorias na qualidade de vida, como uma ferramenta de guerra, se utilizada na construção de armas. Contudo, as vantagens e as desvantagens da tecnologia não estão somente nesses extremos, havendo mesmo vários pontos controversos, como nos mostra Millôr Fernandes, com muito bom humor, no "anúncio" a seguir.

Anúncio: Meu amigo, sente-se cansado, abatido, desmoralizado, com a consciência de que a vida não vale nada? Acha permanentemente que a existência perdeu todos seus valores, que não há mais ética, conceitos estéticos, nenhum objetivo mais profundo e mais humano a atingir? Sua vista está obnubilada por uma permanente poluição visual? O mundo não passa de uma comercialização a qualquer preço? Não desespere: Telefone-nos imediatamente e destruiremos logo o seu aparelho de televisão. Já! Grátis: Sem televisão você será um homem inteiramente novo. [...]

FERNANDES, Millôr. *Millôr definitivo*: a bíblia do caos. 7. ed. Porto Alegre: L&PM, 1994.

a) Relacione no caderno alguns aparelhos ou tecnologias que você considera decisivos para a melhora da qualidade de vida.
b) Agora, liste no caderno alguns aparelhos ou tecnologias que você considera, em algum aspecto, dispensáveis ou prejudiciais ao ser humano.

Resposta pessoal.

5 Finalizando

Este é um livro didático. Assim, a expectativa mais natural dos estudantes seria encontrar nele as "verdades" da Física (**figura 1.20**). No entanto, nossa intenção, nessa retrospectiva histórica, é mostrar que as verdades se modificam. Não há verdade absoluta em ciência. Há premissas verdadeiras perante as justificativas de que dispomos em cada época. Na maior parte das vezes, peneiradas pela razão, as "verdades" se aprimoram, mas a História também nos aponta períodos de perseguição ao pensamento livre, de perseguição ao saber.

Enquanto os sucessos nos experimentos controlados nos conduzem a um terreno de maior confiança nas teorias físicas, as eventuais discrepâncias nos levam a melhorar o conteúdo das hipóteses, o que, por sua vez, nos remete a novos experimentos controlados. Por contraditório que possa parecer, o avanço da ciência vai ocorrendo à medida que ela própria vai negando concepções anteriores, ou seja, ela continuará avançando, continuará confiável, desde que mantenha a capacidade de negar a si mesma, mesmo que seja em aspectos cada vez menores quando os comparamos com todo o conteúdo da teoria.

A ciência não dispõe de todas as respostas. Nem sequer sabemos todas as perguntas. No entanto, um rápido olhar para o passado nos mostra que já percorremos um longo caminho.

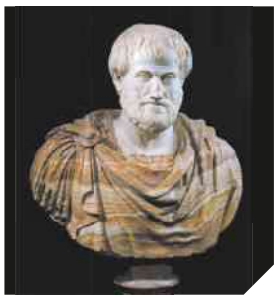


Figura 1.20 Há ainda muitas questões em aberto na Física.

Em construção

Veja comentários sobre esta seção e resposta da atividade no Manual do Professor.

Aristóteles e a Filosofia natural



Album/DEA/G. DAGLI ORTI/Latinstock

Busto de Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.).

Aristóteles nasceu em Estagira, uma cidade grega na Macedônia. Com 17 anos foi enviado para Atenas para estudar com Platão, onde ficou durante vinte anos, até a morte do mestre. Viajou durante vários anos, até que regressou à Macedônia, onde se tornou tutor do jovem Alexandre. Quando este subiu ao trono, Aristóteles voltou a Atenas e lá fundou uma escola, o Liceu, que veio a ser conhecida como Escola Peripatética, devido ao nome do caminho no jardim, peripatos, onde caminhava falando aos seus discípulos.

A obra de Aristóteles é variada e numerosa. Escreveu sobre Lógica, Física, Metafísica, Biologia, Ética, Política e Retórica, mas infelizmente a maior parte de sua obra se perdeu. Boa parte de seu trabalho foi dedicado à Biologia, sendo o primeiro a introduzir o conceito de classificação dos animais e o método de observação controlada. Em seu trabalho, fez referências a mais de 500 espécies diferentes de animais.

Para ele, todos os objetos eram constituídos de forma e matéria. Ele aceitou a teoria proposta originalmente por Empédocles, e subsequentemente adotada por Platão, de que toda a matéria era originária de várias combinações dos quatro elementos: terra, água, ar e fogo. Mas "terra" não era o solo que podemos pegar, e sim uma substância mais refinada, livre de misturas e impurezas.

[...] Aristóteles estabeleceu a filosofia natural nos tratados: *Física*, *Do Céu*, *Meteorologia* e *Metafísica*. No tratado *Física*, ele lida com objetos naturais em geral. Ele usou uma palavra grega, que significa natureza, para se referir a todo o mundo natural, inanimado ou animado. Física é definida como o estudo de objetos naturais que têm uma capacidade para mudança ou movimento. Na Idade Média, a palavra *physica*, em latim, era rotineiramente usada como sinônimo para "filosofia natural".

[...] Na obra *Do Céu*, Aristóteles estende seus estudos para a região supralunar. Segundo ele, o céu era constituído de um quinto elemento, não gerado e indestrutível, que não existia na Terra e que estava sempre em movimento circular e uniforme, ao qual ele deu o nome de éter, derivado do fato de "mover para sempre". A forma do céu é por necessidade esférica, ele diz, pois essa é a forma mais apropriada à sua substância e também pela sua natureza primária. As estrelas são formadas de éter e não de fogo. O calor e luz que procede delas é explicado pelo atrito com o ar devido ao movimento delas. A Terra está em repouso no centro do Universo. As estrelas movem-se em círculos em torno da Terra, mas não giram em torno de si mesmas, como acontece com a Lua, ele conclui erroneamente.

[...] Na *Meteorologia*, Aristóteles discute a região intermediária entre aquela do movimento dos corpos celestes e a do movimento dos corpos materiais. Segundo ele, a revolução do céu arrasta o ar na região superior da atmosfera terrestre imprimindo nele um movimento circular. Escreve que, quando o Sol aquece a Terra surgem dois tipos de exalações. O primeiro tipo é vaporoso e se condensa formando as nuvens (que depois cai na forma de chuva). O segundo tipo é seco e quente, similar ao fogo, e sobe bem alto. Esse tipo de exalação, quando penetra na camada de fogo, entra em ignição e causa o que chamamos de estrelas cadentes, cometas e meteoritos (o ar seco e quente, ao subir, podia carregar elementos sólidos, produzindo assim os meteoritos). O trovão é causado pelo choque do ar seco com o ar úmido condensado nas nuvens. O ar expelido por essas nuvens produz um fogo, que é o relâmpago. Diz que a Terra é essencialmente seca, mas a chuva a torna úmida. Então o Sol a aquece dando origem a ventos, dentro e fora dela. Algumas vezes o vento flui para fora, algumas vezes para dentro, causando os terremotos. Afirma que sabe por experiência que a água salgada do mar, quando evapora, se transforma em água doce quando condensa.

PIRES, Antonio S. T. *Evolução das ideias da Física*. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

Pesquise e conclua

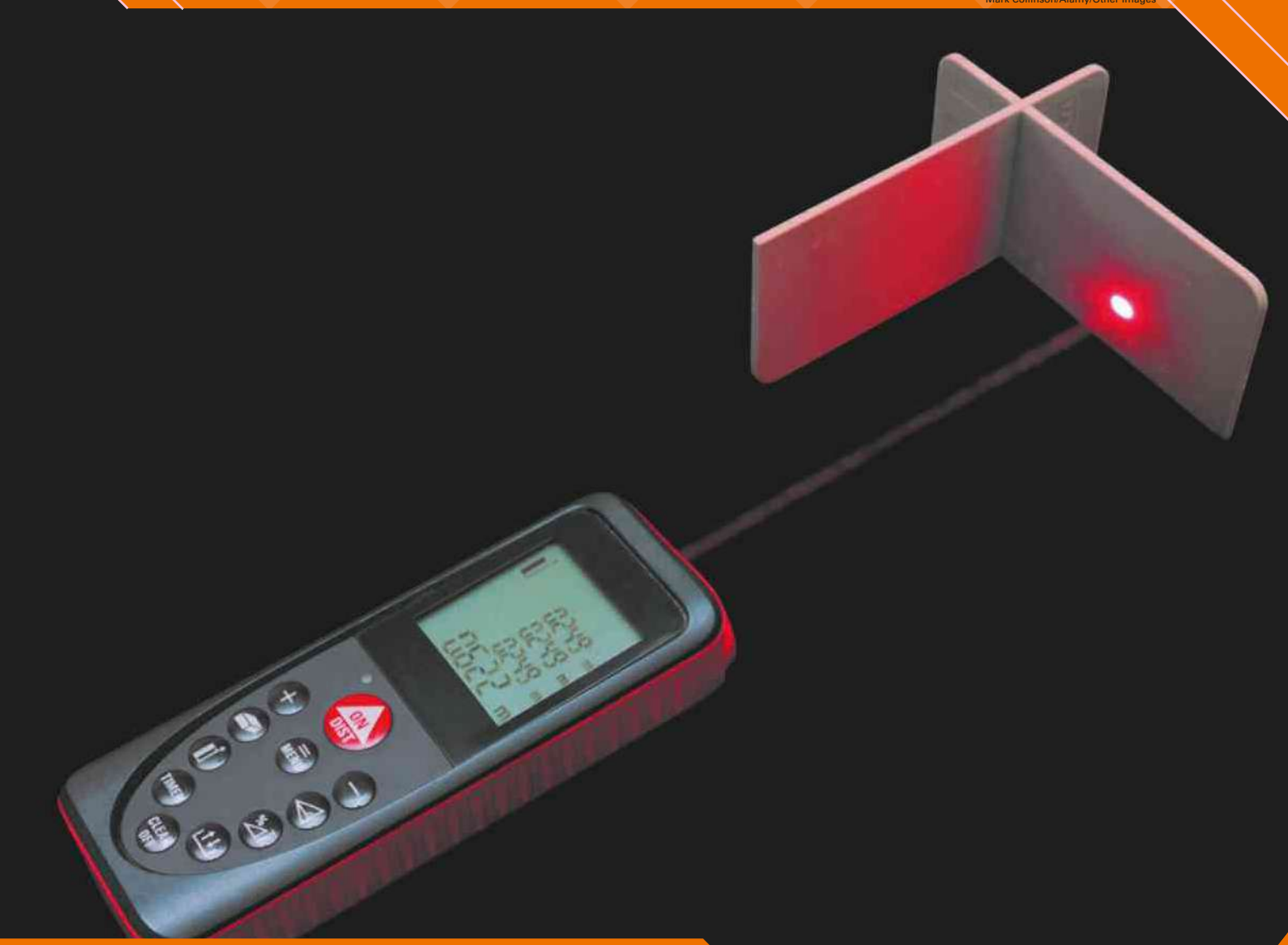
Quais teorias ainda se baseiam nas ideias de Aristóteles e quais tiveram de ser abandonadas em razão das novas concepções e ideias sobre a natureza?

CAPÍTULO 2

Grandezas e sistemas de unidades

Veja comentários, orientações e sugestões sobre este capítulo no Manual do Professor.

Mark Collinson/Alamy/Other Images



A trena a *laser* é um equipamento de aproximadamente 10 cm de comprimento. Basta apertar um botão e ela emite um feixe de luz; em segundos e com extrema precisão, a medida da distância aparece no visor.

Ao longo dos tempos, novas grandezas e suas respectivas unidades foram incorporadas em nosso cotidiano. Há pouco mais de cem anos, não se falava em calibração de pneus, em consumo de combustível, na duração das baterias dos celulares ou na capacidade de armazenamento de informações em um computador.
Muitas das unidades de medida que usamos em nossa vida não são citadas em trabalhos científicos. Então, por que continuamos a utilizá-las?

1 A importância das medições e das unidades

Veja a leitura complementar "Como se mede o número de sapato?" no Manual do Professor.

As imagens desta página não estão representadas em proporção.

Da alta precisão exigida em um laboratório à simplicidade da compra de uma roupa, nosso convívio com as grandezas e os sistemas de unidades de medidas tornou-se inevitável. Por isso, aprender o significado correto dessas medidas é fundamental para o nosso dia a dia.

Mas a preocupação com o uso de medidas e unidades não é privilégio dos tempos modernos. Não bastassem as questões filosóficas, nossos antepassados também enfrentaram outros problemas no campo prático, pois, até o fim do século XVIII, cada região escolhia de modo arbitrário e independente as unidades utilizadas em suas medidas. Por motivos históricos, os países de língua inglesa utilizam até hoje os seus padrões regionais, como o pé (figura 2.1.a), a polegada (figura 2.1.b), a jarda (figura 2.1.c), a milha, a libra, o galão e outros mais.

Muitas vezes quantificamos os elementos usando adjetivos. Quando dizemos que a sala de aula é grande, que o texto a ser estudado é longo ou ainda que o tempo para resolver a prova foi pequeno, é evidente que estamos comparando esses elementos com algum **padrão**.

Em Física, a quantificação é feita usando-se números em vez de adjetivos, explicitando-se claramente qual o padrão utilizado para a obtenção desses números.



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 2.1 Pé: unidade de medida de comprimento do sistema anglo-saxão (**a**). Polegada: unidade de medida inglesa de comprimento (**b**). Jarda: unidade de medida de comprimento inglesa e estadunidense (**c**).

Assim, quando alguém diz "uma sala tem 3 metros de altura" ou "durmo 8 horas por dia", temos a ideia exata das grandezas mencionadas: altura e intervalo de tempo. Os valores 3 e 8 correspondem a um certo número de vezes uma quantidade-padrão: o metro, no primeiro caso, e a hora, no segundo.

Uma quantidade-padrão recebe o nome de **unidade**. A unidade é a quantidade específica que serve de comparação entre grandezas de mesma espécie. De modo geral, podemos definir como **grandeza** tudo aquilo que podemos comparar a um padrão efetuando uma medição.

Ao efetuarmos a medição de uma grandeza, o resultado obtido deve ser sempre apresentado por um número seguido de uma unidade. Medidas como o comprimento, a largura ou a espessura de um livro, por exemplo, são expressas geralmente em centímetro (figura 2.2.a); já as dimensões de um terreno urbano são dadas em metro (figura 2.2.b); as distâncias entre cidades são expressas em quilômetro, e as distâncias astronômicas, em ano-luz. Observe que uma mesma grandeza, no caso o comprimento, pode ser expressa com unidades diferentes (centímetro, metro, quilômetro e ano-luz), dependendo da situação.

Padrão – Base de comparação aprovada como modelo pelo consenso geral ou por um órgão especializado. No caso das unidades de medida, os padrões são estabelecidos por autoridades tecnicamente reconhecidas, que ditam as regras para medir e expressar as medidas das grandezas, como ocorre com o comprimento, a massa e o tempo.

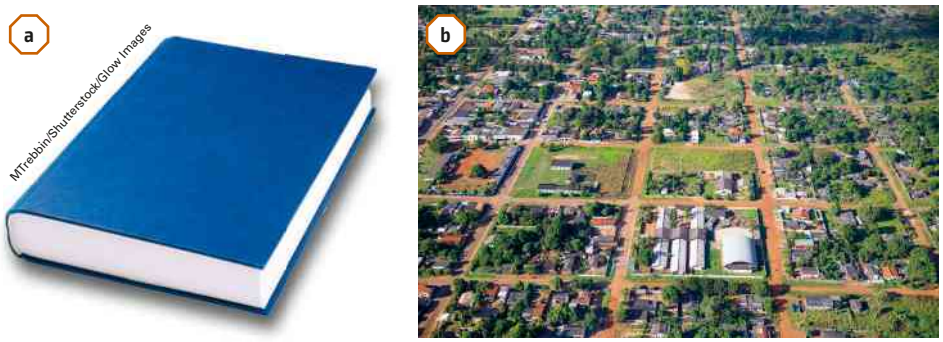


Figura 2.2 As dimensões de um livro (**a**) e de um terreno (**b**) devem ser expressas em unidades adequadas.

Veja resposta no Manual do Professor.

Para refletir

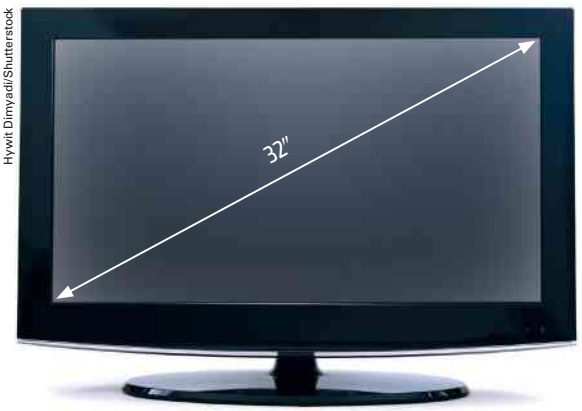
Quais são os inconvenientes de expressar as medidas do livro em metro, ou em quilômetro, e as medidas do terreno em centímetro, ou em milímetro?

Isso também acontece com outras grandezas. Tomemos como exemplo a massa. Ao utilizarmos uma balança na determinação da massa de um corpo qualquer, o resultado pode ser expresso em gramas, quilogramas, **arrobas**, toneladas... Geralmente, no dia a dia, valores de massa menores que 1,0 kg são expressos em gramas, e os maiores que 1000 kg, em toneladas. Entretanto, a comercialização da carne bovina em grande escala continua sendo feita em arrobas.

Arroba – Antiga unidade de medida de massa que corresponde a aproximadamente 14,7 kg.

Nosso cotidiano está impregnado de unidades que herdamos de outros países. Por exemplo, os mecânicos utilizam, com naturalidade, chaves de boca ou de roda com medidas em polegadas, e a maioria das pessoas tem a noção exata do tamanho da tela de um televisor dado em polegadas (**figura 2.3**), mesmo sem saber o valor de uma polegada em centímetros. Continuamos comercializando tinta em galões, e o petróleo, em barris.

É importante lembrar que não incluir a unidade na medida de uma grandeza pode gerar dúvidas e, em alguns casos, acarretar sérias consequências, como se descreve na seção *Física explica*.



Hywit Dimyadi/Shutterstock

Figura 2.3 As dimensões dos televisores, indicadas em polegadas, equivalem ao comprimento diagonal da tela do aparelho.

Física explica

Veja comentários e resposta da atividade desta seção no Manual do Professor.

Erro da Nasa pode ter destruído sonda

Um erro elementar de conversão de pesos e medidas cometido pelos controladores de voo pode ter sido o motivo pelo qual a sonda espacial *Mars Climate Orbiter* foi destruída ao tentar entrar na órbita de Marte há sete dias. Ao se aproximar do planeta, a sonda recebeu duas informações conflitantes dos controladores na Terra. Uma, no Sistema Métrico Decimal (que usa metro e quilograma), e outra, em unidades britânicas (que usa pé e libra). As informações eram consideradas críticas para que a sonda alcançasse a órbita apropriada de Marte. É o que indicam os primeiros resultados obtidos por uma comissão que investiga as causas da perda da sonda, formada por membros do Laboratório de Propulsão a Jato, da Nasa, agência espacial [estadunidense].

"As pessoas cometem erros às vezes", disse Edward Weiler, administrador-associado para as Ciências Espaciais da Nasa, em um comunicado à imprensa. Para Weiler, no entanto, o problema principal não foi o erro cometido pelos controladores de voo, mas sim a falha dos sistemas de engenharia da Nasa, que não foram capazes de detectar as diferenças numéricas e corrigir os dados a tempo.

O erro de navegação fez com que a Mars Climate Orbiter (COM) chegasse a apenas 60 km de Marte – 100 km mais perto do que o planejado e 25 km abaixo do nível de segurança do projeto. O erro de rota teria sido suficiente para que ela fosse destruída pela atmosfera do planeta, em 23 de setembro, segundo a Nasa. [...].

FERRONI, Marcelo. *Folha de S.Paulo*, 1º out. 1999.

- Em sua opinião, quais medidas devem ser tomadas para que erros, como o mencionado no texto, não se repitam?

Exercícios

1. a) Não é possível avaliar se o clima estará quente ou frio, pois falta a unidade.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Um brasileiro fica sabendo que, na época do ano em que pretende ir aos Estados Unidos, a temperatura média por lá é da ordem de 41 graus.

a) Você acha que ele vai enfrentar um clima quente ou um clima frio com essa temperatura?

b) No Brasil, utiliza-se a escala Celsius (°C) nas medidas de temperatura, enquanto nos Estados Unidos a escala utilizada é a Fahrenheit (°F). Considerando que 41 °F correspondem a 5 °C e que 41 °C correspondem a 105,8 °F, responda à pergunta do item **a** com essas informações. $T = 5\ °C$

2. No Brasil, a implantação de ferrovias se deu com forte influência inglesa, enquanto na indústria automobilística houve grande influência estadunidense. Com isso, ainda hoje temos várias ferramentas, como as chaves usadas na manutenção de veículos, cujas medidas são dadas em polegadas em vez de milímetros.

Um mecânico precisa soltar uma porca cuja medida do diâmetro é $\frac{5}{16}$ de polegada.



Dispondo apenas de um jogo de chaves medidas em milímetros, ele opta pela chave de 8 milímetros para realizar a tarefa. Sabendo-se que 1 polegada (pol.) vale, aproximadamente, 25 milímetros, a escolha do mecânico está correta? Justifique. A escolha está correta. Veja resposta completa no Manual do Professor.

3. Quando os seres humanos começaram a negociar, surgiu a necessidade da criação de um sistema de pesos e medidas. Os comerciantes precisavam garantir que todos comprassem e vendessem os produtos da mesma forma, que o freguês recebesse uma quantidade da mercadoria proporcional ao valor pago e o vendedor fosse remunerado adequadamente. Isso significa que alguém (quase sempre o governo) teria que estabelecer e manter um sistema padronizado de pesos e comprimentos.

Fonte: TREFIL, James; HAZEN, Robert M. *Física viva*. Rio de Janeiro: LTC, 2006. v. 1, p. 37.

Com base no texto, podemos concluir que:

a) o sistema de pesos e medidas foi uma invenção do governo.

X b) a criação de um sistema de pesos e medidas tornou as transações comerciais mais justas.

c) antes da criação de um sistema de pesos e medidas não havia comércio entre os povos.

d) a criação de um sistema de pesos e medidas deu início às negociações entre os seres humanos.

2 Notação científica

Veja comentários sobre este tópico no Manual do Professor.

Ao efetuar a medida de determinada grandeza física, podemos eventualmente obter um número pequeno (muito menor que 1) ou muito grande (muito maior que 1). Por exemplo, o microscópio eletrônico de tunelamento (**figura 2.4**) é capaz de obter imagens em uma escala atômica de 0,0000000002 metro (dois décimos de bilionésimo de metro), sendo usado na manipulação individual de átomos. Trata-se de uma medida muito menor que 1 m.

Por sua vez, medidas do raio da Terra (**figura 2.5**), como a efetuada por Eratóstenes de Cirene (276 a.C.-194 a.C.), indicam o valor de 6 400 000 m (seis milhões e quatrocentos mil metros). Nesse caso, temos uma medida muito maior que 1 m.

O mesmo acontece com medidas de massa, de intervalo de tempo e, de modo geral, com medidas da maioria das grandezas físicas.

Uma maneira prática de manipular números com grande quantidade de zeros é a utilização de potências de 10.


Javier Larrea/Easypix

Figura 2.4 Microscópio eletrônico de tunelamento.


Marcel Clemens/Shutterstock/Glow Images

Figura 2.5 Atualmente sabemos que o raio da Terra mede 6 378 100 m. Representação artística da Terra vista do espaço.

As imagens desta página não estão representadas em proporção.

Qualquer número real x pode ser escrito como o produto de um número a, cujo módulo está entre 1 e 10 (incluindo o 1), por outro, que é uma potência de 10 com expoente inteiro 10^n, ou seja:

$$x = a \cdot 10^n$$

Essa forma de representação do número x é denominada **notação científica**.

Vejamos, inicialmente, como escrever números maiores do que 1 em notação científica. Por exemplo, o número 200 pode ser escrito como:

$$200 = 2 \cdot 100 = 2 \cdot 10^2$$

Assim, o número 200, na forma de notação científica, torna-se $2 \cdot 10^2$.

Tomemos como exemplo o número 5 300 000. Para escrevê-lo em notação científica, deslocamos a vírgula da última casa (na qual ela está subentendida) para a esquerda, até alcançar o primeiro algarismo do número (no caso, o 5). Assim, o número de casas pelas quais a vírgula foi deslocada para a esquerda (seis) corresponde ao expoente positivo da potência de 10:

$$\underbrace{5\,300\,000}_{\text{6 casas}} = 5{,}3 \cdot 10^6$$

Vejamos, agora, como proceder com números menores do que 1. Tomemos como exemplo o número 0,00000024. Nesse caso, deslocamos a vírgula para a direita até transpor o primeiro algarismo diferente de zero. Observe que o número de casas de deslocamento (sete) da vírgula corresponde ao expoente negativo da potência de 10. Assim, temos:

$$\underbrace{0{,}00000024}_{\text{7 casas}} = 2{,}4 \cdot 10^{-7}$$

Ao apresentarmos um número em notação científica, o módulo do número a, que multiplica a potência de 10, deve obedecer à condição:

$$1 \leqslant a < 10$$

Assim, o modo correto de escrever o número $25 \cdot 10^4$ em notação científica é $2{,}5 \cdot 10^5$. O mesmo acontece com o número $84 \cdot 10^{-3}$, que em notação científica deve ser escrito $8{,}4 \cdot 10^{-2}$.

A notação científica nem sempre é a forma mais familiar de apresentar um resultado. Por exemplo, para expressar a velocidade de um carro de corrida, é mais prático escrever 300 km/h do que $3 \cdot 10^2$ km/h. Além da praticidade, a forma 300 km/h nos dá uma ideia mais clara do valor da velocidade do carro.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

Exercícios

4. A densidade demográfica de um país é a relação entre o número de habitantes e a área ocupada pelo país, dada em habitantes/km². Veja respostas no Manual do Professor.

Densidade demográfica

País	População (habitantes)	Área (km²)
Brasil	202,0 milhões	8,5 milhões
China	1,393 bilhão	9,6 milhões
Cingapura	5,517 milhões	710

Fonte: <www.ibge.gov.br/paisesat/main.php>. Acesso em: jun. 2015.

a) Escreva no caderno os números da tabela em notação científica.

b) Qual dos três países possui maior densidade demográfica?

c) Possuir uma densidade demográfica alta é bom ou ruim? Justifique.

5. Em 2015, a população mundial atingiu $7{,}3 \cdot 10^9$ habitantes. Sabendo que na Europa vivem 743 milhões de pessoas, qual era a população do restante do mundo nesse ano? Dê a resposta em notação científica. $P_{rest.} = 6{,}56 \cdot 10^9$ habitantes.

6. A meta brasileira de produção de óleo em 2015 é de 2,1 milhões de barris de óleo por dia. Escreva em notação científica e em unidades de barris a meta de produção em 1 mês (30 dias). Prod. $= 6{,}3 \cdot 10^7$ barris.

3 Sistema Internacional de Unidades (SI)

Com o avanço das ciências, veio a necessidade de se agruparem as unidades, formando sistemas, para unificar os métodos de trabalho em todo o mundo. Atualmente, o mais usado é o Sistema Internacional de Unidades, conhecido como **SI**, padronizado em 1960 na 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), tendo como base o antigo Sistema MKS (metro, quilograma, segundo). Hoje o SI é o sistema oficialmente adotado na maioria dos países – incluindo o Brasil, que aderiu a ele em 1962.

O embrião do SI foi o Sistema Métrico Decimal, criado em 1792, durante a Revolução Francesa, e adotado no Brasil em 1862. Essa adoção causou problemas em algumas regiões, principalmente no nordeste do território, conforme relato do quadro *Física tem História*.

Física tem História

Veja comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

No final de 1874, eclodiu na Paraíba uma rebelião popular conhecida como a **Revolta do Quebra-Quilos**, que durou até meados de 1875 e se estendeu a Pernambuco e ao Rio Grande do Norte. Descontentes com as imposições arbitrárias da Coroa, os sertanejos revoltaram-se quando suas antigas medidas (arroba, farda e alqueire) foram substituídas pelo sistema métrico. As novas balanças, alugadas ou compradas pela Câmara Municipal, foram alvo de depredação nas muitas vilas rebeladas.



Autoria desconhecida/IHGB, RJ

Os altos preços e a intensa fiscalização fizeram das feiras do interior centros da revolta. Imagem da cidade de Piranhas (AL), em 1874.

Trabalho em equipe

Façam uma pesquisa, em equipe e sob orientação de seu professor, sobre a Revolta do Quebra-Quilos com ênfase nas unidades utilizadas na época, nas implicações socioeconômicas das medidas tomadas pelo governo e nas conotações políticas do movimento. Solicitem a participação do professor de História em um debate, juntamente com a apresentação dos trabalhos de cada grupo.

Com a criação do Sistema Métrico Decimal, foram construídos dois padrões de platina, representando o metro e o quilograma, que foram guardados nos Arquivos da República, em Paris, em 1799. De acordo com o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), a criação desses padrões pode ser considerada a primeira etapa do processo que fez surgir o atual SI.

Após a padronização do SI, em 1960, outras unidades de medida ainda foram incorporadas ao sistema com o passar do tempo. Em 1971, na 14ª CGPM, o **mol** foi incluído como unidade de base para quantidade de matéria, compondo o SI tal como conhecemos hoje – isto é, com sete unidades de base.

Tabela 2.1 Unidades de base do SI

Grandeza	Unidades de base	
	Nome	Símbolo
comprimento	metro	m
massa	quilograma	kg
tempo	segundo	s
corrente elétrica	ampère	A
temperatura termodinâmica	kelvin	K
quantidade de matéria	mol	mol
intensidade luminosa	candela	cd

Fonte: INMETRO. *Sistema Internacional de Unidades – SI*. 8. ed. (revisada). Rio de Janeiro, 2007.

Segundo o Inmetro*, as definições oficiais de todas as unidades de base do SI, que foram aprovadas ao longo dos anos, "são modificadas periodicamente a fim de acompanhar a evolução das técnicas de medição e para permitir uma realização mais exata das unidades de base".

Atualmente, o SI é composto de:

Unidades de base. Essas unidades referem-se às sete grandezas de base: comprimento, massa, tempo, corrente elétrica, temperatura termodinâmica, quantidade de matéria e intensidade luminosa (**tabela 2.1**).

Unidades derivadas. Unidades que podem ser expressas a partir das unidades de base, utilizando-se símbolos matemáticos de multiplicação e de divisão (**tabela 2.2**). As unidades derivadas referem-se às grandezas derivadas, que são definidas em razão das sete grandezas de base.

Tabela 2.2 Algumas unidades derivadas do SI expressas a partir das unidades de base

Grandeza	Unidades derivadas			
	Nome	Símbolo	Expressão em outras unidades do SI	Expressão em unidades de base do SI
velocidade	metro por segundo	m/s		
aceleração	metro por segundo ao quadrado	m/s^2		
massa específica	quilograma por metro cúbico	kg/m^3		
superfície	metro quadrado	m^2		
volume	metro cúbico	m^3		
força	newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
pressão	pascal	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
energia, trabalho	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
potência	watt	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
impulso	newton · segundo	$N \cdot s$	$N \cdot s$	$m \cdot kg \cdot s^{-1}$

Fonte: INMETRO. *Sistema Internacional de Unidades – SI*. 8. ed. (revisada). Rio de Janeiro, 2007.

Exercícios

7. Veja complemento da resposta no Manual do Professor.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

7. Em relação às unidades das grandezas força, energia e intensidade de corrente elétrica, identifique qual(is) frase(s) não está(ão) escrita(s) de acordo com as regras oficiais e internacionais e reescreva-a(s) adequadamente.

X I. Uma força de 50 n foi aplicada ao corpo.

II. Um objeto em movimento possui energia de 500 J.

X III. A intensidade de corrente elétrica na lâmpada é 2,5 Ampère.

8. As forças que agem em um paraquedista em queda são a força peso e a força de resistência do ar, que pode ser expressa por $F_{ar} = k \cdot v^2$. Nessa expressão, F_{ar} é o valor da força de resistência do ar, k é uma constante e v é a velocidade do paraquedista.

Com base na **tabela 2.2**, a constante k é expressa em unidades de base do SI por:

a) m/kg

X b) kg/m

c) kg^2/m

d) kg/m^2

*INMETRO. *Sistema Internacional de Unidades*. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/Si.pdf>. Acesso em: jul. 2015.

4 Medidas de comprimento, área e volume

No SI, a unidade de medida de **comprimento** é o **metro (m)**. De 1889 a 1960, a definição do metro era baseada em um protótipo de platina e irídio (figura 2.6). Com a finalidade de aumentar a exatidão, na 11ª CGPM a definição de metro foi substituída por outra, baseada no comprimento de onda de uma radiação de criptônio 86.

A 17ª CGPM (1983) substituiu essa última definição pela seguinte:

> O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $\frac{1}{299792458}$ de segundo (0,0000000033 s).



Reprodução/Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia, Estados Unidos

Figura 2.6 Réplica do metro-padrão, arquivado na Repartição Internacional de Pesos e Medidas, em Paris, França.

O metro possui múltiplos e submúltiplos. Alguns múltiplos e submúltiplos são mostrados na tabela 2.3.

Existem algumas unidades de comprimento que, mesmo não fazendo parte do SI, continuam sendo utilizadas na prática. São elas:

- milha marítima = 1852 m;
- milha terrestre = 1609 m;
- angström = 10^{-10} m;
- ano-luz = $9{,}6 \cdot 10^{15}$ m = $9{,}6 \cdot 10^{12}$ km.

Ao adquirir um terreno para construir sua casa, uma pessoa deve levar em conta a **área** delimitada pelo terreno. Por exemplo, um terreno retangular, com 20 m de comprimento (b) e 30 m de largura (l) tem área de 600 m²:

$a = b \cdot l \Rightarrow a = 20\ \text{m} \cdot 30\ \text{m} \Rightarrow a = 600\ \text{m}^2$

O **metro quadrado (m²)** é a unidade de área do SI e também possui múltiplos e submúltiplos. Na tabela 2.4, temos alguns múltiplos e submúltiplos do metro quadrado.

Tabela 2.3 Múltiplos e submúltiplos do metro

Múltiplos	Relação com o metro (m)
quilômetro (km)	1 km = 1000 m = 10^3 m
hectômetro (hm)	1 hm = 100 m = 10^2 m
decâmetro (dam)	1 dam = 10 m
Submúltiplos	**Relação com o metro (m)**
decímetro (dm)	1 dm = 0,1 m = 10^{-1} m
centímetro (cm)	1 cm = 0,01 m = 10^{-2} m
milímetro (mm)	1 mm = 0,001 m = 10^{-3} m

Para refletir

Em Astronomia, as distâncias da Terra às estrelas são expressas em anos-luz. Qual é a vantagem de expressar essas distâncias nessa unidade, em vez de se utilizar o metro?

Veja resposta no Manual do Professor.

Tabela 2.4 Múltiplos e submúltiplos do metro quadrado

Múltiplos	Relação com o metro quadrado (m²)
quilômetro quadrado (km²)	1 km² = (1000 m)² = 10^6 m²
hectômetro quadrado (hm²)	1 hm² = (100 m)² = 10^4 m²
decâmetro quadrado (dam²)	1 dam² = (10 m)² = 10^2 m²
Submúltiplos	**Relação com o metro quadrado (m²)**
decímetro quadrado (dm²)	1 dm² = (0,1 m)² = 10^{-2} m²
centímetro quadrado (cm²)	1 cm² = (0,01 m)² = 10^{-4} m²
milímetro quadrado (mm²)	1 mm² = (0,001 m)² = 10^{-6} m²

Uma unidade de área que não pertence ao SI, mas que ainda é muito utilizada no Brasil para medir grandes extensões de terra, como no caso de fazendas, é o alqueire. A relação entre o alqueire e o metro quadrado depende da região: enquanto o alqueire mineiro ou goiano corresponde a 48 400 m^2, o alqueire paulista corresponde a 24 200 m^2.

Vejamos agora um exemplo referente à unidade de **volume** do SI. Nas cidades, a companhia responsável pelo abastecimento de água envia mensalmente, para todos os moradores que utilizam água encanada, a conta para pagamento referente ao consumo de água. Nela, a quantidade (volume) de água utilizada pelo usuário está especificada em metros cúbicos. O **metro cúbico (m^3)** é a unidade de volume do SI. Alguns múltiplos e submúltiplos são mostrados na tabela 2.5.

Tabela 2.5 Múltiplos e submúltiplos do metro cúbico

Múltiplos	Relação com o metro cúbico (m^3)
quilômetro cúbico (km^3)	$1\ km^3 = (1000\ m)^3 = 10^9\ m^3$
hectômetro cúbico (hm^3)	$1\ hm^3 = (100\ m)^3 = 10^6\ m^3$
decâmetro cúbico (dam^3)	$1\ dam^3 = (10\ m)^3 = 10^3\ m^3$
Submúltiplos	**Relação com o metro cúbico (m^3)**
decímetro cúbico (dm^3)	$1\ dm^3 = (0{,}1\ m)^3 = 10^{-3}\ m^3$
centímetro cúbico (cm^3)	$1\ cm^3 = (0{,}01\ m)^3 = 10^{-6}\ m^3$
milímetro cúbico (mm^3)	$1\ mm^3 = (0{,}001\ m)^3 = 10^{-9}\ m^3$

Uma unidade de volume muito utilizada na prática é o **litro (L)**. Um litro equivale ao volume ocupado por um cubo com 10 cm de aresta: 10 cm de comprimento, 10 cm de largura e 10 cm de altura. Então, o volume desse cubo é 1000 cm^3 (10 cm × 10 cm × 10 cm). Assim, 1 L corresponde a 1000 cm^3 ou a 1 milésimo do m^3:

$$1\ L = 10^3\ cm^3 = 10^{-3}\ m^3$$

Se o consumo mensal de água de uma residência é 18 m^3, significa que há um consumo médio de 600 L de água por dia.

Trabalho em equipe

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o consumo de água de uma pessoa deveria ser, no máximo, de 180 L por dia. Assim, o consumo mensal de água de uma família de quatro pessoas seria de 21,6 m^3.

Façam uma pesquisa em dupla, sob a orientação do professor, sobre o consumo de água nas residências do seu bairro. Apresentem os resultados em um painel e, se necessário, estabeleçam algumas formas de conscientização da população sobre a necessidade de economia de água.



Dja65/Shutterstock

Figura 2.7 Tratando-se de unidades de medida, um barril corresponde a 159 L.

O petróleo é a mais importante fonte de energia para muitos países. A comercialização do petróleo é feita em uma unidade que não pertence ao SI nem ao sistema inglês: o **barril**. Para que tenhamos uma noção da quantidade de petróleo existente em 1 barril (figura 2.7), temos a relação:

1 barril corresponde a 159 L, ou a 0,159 m^3

Exercícios

9. a) Retângulo com: 7,0 cm de frente, com recuo de 1,5 cm em cada lateral; 19 cm de fundo, com recuo de 4 cm na frente e 2 cm no fundo.
b) $A_{máx} = 133\ cm^2$

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

9. Para construir uma casa térrea em um terreno retangular de 10 m de frente e 25 m de fundo, o Sr. João é informado que precisa obedecer aos seguintes recuos: 4,0 m na frente, 2,0 m no fundo e 1,5 m em cada lateral. Para ajudá-lo, você vai traçar a planta baixa da casa, utilizando a escala 1:100, ou seja, cada centímetro na planta baixa deve corresponder a 100 cm (1,0 m) no terreno.

a) Em uma folha de papel, desenhe o retângulo correspondente ao terreno e, obedecendo aos recuos exigidos, trace o retângulo que representa a área útil máxima da casa.
b) Determine, em m², a área máxima da casa;
c) Qual a porcentagem da área do terreno que poderá ser utilizada para a construção? 53,2%

10. Diversas companhias fornecedoras de água encanada utilizam uma tabela progressiva para o cálculo do consumo por parte dos usuários. Nesses casos, quanto maior é o consumo, maior é o preço do metro cúbico de água consumido. A tabela a seguir indica parte dos valores praticados em uma cidade.

Tarifas para consumo residencial normal de água

Consumo mensal	Custo por m³
até 10 m³	R$ 0,40
de 11 m³ a 15 m³	R$ 0,68
de 16 m³ a 25 m³	R$ 1,47
de 26 m³ a 30 m³	R$ 1,91
de 31 m³ a 35 m³	R$ 2,55

Fonte: dados fictícios.

Para dada residência, as leituras obtidas no medidor de consumo de água, em um intervalo de trinta dias, estão indicadas nas figuras a seguir, nas quais os dígitos em vermelho indicam frações do metro cúbico.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

R$ 25,92

a) Sabendo que o consumo mensal de água, em metros cúbicos, é dado pela diferença entre as duas leituras mostradas na figura, calcule o custo da água consumida, em reais, nessa residência.
b) Qual seria a economia, em reais, se o consumo de água dessa residência fosse 10% menor? R$ 4,85

11. (Ufam) No dia 30 de setembro de 2014, uma tempestade que durou aproximadamente 80 minutos atingiu a cidade de Manaus. Com rajadas de vento que atingiram velocidades de até 92 km/h, esta tempestade trouxe alagação, medo e destruição. O total de precipitação acumulada foi de 114 milímetros de chuva, superando em 56% a média esperada para o mês de setembro. Sabendo que cada milímetro de precipitação corresponde a 1 litro de água acumulado em um metro quadrado de superfície, podemos afirmar que essa tempestade acumulou, para cada quilômetro quadrado de superfície, um volume de água da ordem de:

a) 10^5 L
b) 10^6 L
c) 10^7 L
X d) 10^8 L
e) 10^9 L

5 Medidas de massa e de tempo

Desde o surgimento do comércio, o ser humano sentiu necessidade de estabelecer comparações, lançando mão, inicialmente, de métodos intuitivos. Posteriormente, surgiu a balança de comparação, que consiste em dois pratos iguais, em equilíbrio, ligados simetricamente por uma haste. Esse tipo de balança (**figura 2.8**) possibilitava a comparação da massa de certa quantidade de matéria com objetos cujas massas haviam sido previamente determinadas. Esses objetos ficaram conhecidos como "pesos". O "peso" mais antigo de que temos notícia era usado na Babilônia; conhecido como **mina**, valia entre 500 g e 600 g.



Andrea Michele Piacquadio/Shutterstock/Glow Images

Figura 2.8 Balança de braços iguais.



Omikron/Photoresearchers/Latinstock

Figura 2.9 Réplica do quilograma-padrão.

A unidade de **massa** do SI é o **quilograma (kg)**. Esse padrão foi estabelecido a partir da massa de um cilindro, composto de 90% de platina e 10% de irídio, com o diâmetro da base igual à altura (3,9 cm). Esse protótipo (figura 2.9), sancionado pela 1ª CGPM, em 1889, encontra-se conservado no Bureau Internacional de Pesos e Medidas, em Sèvres, na França. É importante lembrar que, confirmado na 3ª CGPM (1901), o **quilograma é a unidade de massa** (e não de peso nem de força); ele equivale à massa do protótipo internacional do quilograma. Na tabela 2.6 são apresentados alguns submúltiplos do quilograma.

Tabela 2.6 Submúltiplos do quilograma

Submúltiplo	Relação com o quilograma (kg)
hectograma (hg)	$1\,hg = 0{,}1\,kg = 10^{-1}\,kg$
decagrama (dag)	$1\,dag = 0{,}01\,kg = 10^{-2}\,kg$
grama (g)	$1\,g = 0{,}001\,kg = 10^{-3}\,kg$
decigrama (dg)	$1\,dg = 0{,}0001\,kg = 10^{-4}\,kg$
centigrama (cg)	$1\,cg = 0{,}00001\,kg = 10^{-5}\,kg$
miligrama (mg)	$1\,mg = 0{,}000001\,kg = 10^{-6}\,kg$

Algumas unidades práticas de massa (figura 2.10), que não pertencem ao SI, são:

- tonelada (t): $1\,t = 1\,000\,kg = 10^3\,kg$
- libra (lb, unidade do sistema inglês): $1\,lb = 0{,}45\,kg$
- onça (oz): $1\,oz = 28\,g = 0{,}028\,kg$



Fotos: Agstudios/Shutterstock/Glow Images

Figura 2.10 Produtos comercializados em mais de um país geralmente trazem indicações de quantidades em mais de uma unidade de medida, de acordo com o que é usual em cada país.

Vejamos agora as unidades de medida de **tempo**. Para medir o tempo, o ser humano há muito utiliza o movimento dos astros. A rotação da Terra determinou o dia – intervalo de tempo entre duas passagens consecutivas do Sol pela mesma posição no céu, para um observador fixo na Terra. O dia foi então dividido em horas (h), minutos (min) e segundos (s).

Na **tabela 2.7** são apresentadas algumas relações entre as unidades de tempo.

Tabela 2.7 Relações entre unidades de tempo

Unidade	Relação com o segundo (s)
minuto	1 min = 60 s
hora	1 h = 60 min = 3 600 s ($3{,}6 \cdot 10^3$ s)
dia	1 dia = 24 h = 1440 min = 86 400 s ($8{,}6 \cdot 10^4$ s)
ano	1 ano = 365 dias = 8 760 h = $5{,}3 \cdot 10^5$ min = $3{,}2 \cdot 10^7$ s

No SI, a unidade de tempo é o **segundo (s)**. De acordo com a primeira definição, 1 segundo era a fração $\frac{1}{86\,400}$ (0,000016) do dia solar médio. Com o passar dos anos, porém, constatou-se que o dia solar médio não apresentava a exatidão que se fazia necessária, devido às irregularidades na rotação da Terra. Com isso, foi preciso substituir a definição da unidade de tempo do SI. Posteriormente, pesquisas experimentais baseadas na transição entre dois níveis de energia de um átomo mostraram que esse seria um padrão de intervalo de tempo altamente confiável e com uma precisão muito superior à anterior. Atualmente, segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio-133.

Física explica

Veja comentários e resposta da atividade desta seção no Manual do Professor.

Relógio atômico

O césio é o elemento mais usado em relógios atômicos, os mais precisos que existem. Eles tornaram possível a tecnologia dos GPSs, utilizada em navios, aviões e automóveis para determinar posições ou planejar trajetos. Possibilitam uma perfeita sincronia das informações gerenciadas pelos diversos satélites envolvidos. Por causa de seu uso em relógios, o césio-133 (Cs-133) foi escolhido para definir a unidade de tempo: o segundo.

Quando átomos de césio estão no estado fundamental e recebem energia, podem passar para outros estados que são chamados de excitados. Ao voltarem ao estado fundamental, o excesso de energia pode ser liberado na forma de ondas eletromagnéticas.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV). Espaço Ciência em Ação. Disponível em: <www.cienciaemacao.ufv.br/detalheElemento.php?idElemento=14>. Acesso em: jul. 2015.

A estrutura eletrônica do Cs-133 [césio] apresenta um nível – conhecido como nível hiperfino do estado fundamental – que pode ser excitado com micro-ondas na frequência de 9 192 631 770 Hertz, ou cerca de 9,2 gigahertz.

INSTITUTO CIÊNCIA HOJE. *Se não fosse o relógio atômico...* Disponível em: <cienciahoje.uol.com.br/colunas/do-laboratorio-para-a-fabrica/Se-nao-fosse-o-relogio-atomico>. Acesso em: jul. 2015.



Reprodução/<http://boletim.ifsc.usp.br/Todas-Noticias.php?rowid=576>

Relógio atômico de césio construído no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, em São Carlos, SP.

- Quantas oscilações da onda eletromagnética relacionada à transição entre dois níveis hiperfinos do átomo de césio-133 correspondem ao tempo que você gastou para ler este texto?

Física tem História

Veja comentários e respostas das questões desta seção no Manual do Professor.

Calendário gregoriano

Em fevereiro de 1582, o papa Gregório XIII promulgou o Calendário Gregoriano em substituição ao Calendário Juliano, introduzido por Júlio César (100 a.C.-44 a.C.) em 45 a.C. Oficialmente, o primeiro dia do novo calendário foi 15 de outubro de 1582. As principais regras estabelecidas no Calendário Gregoriano foram:



Album/Oronoz/Latinstock

Retrato de Gregório XIII (1502-1585).

- A manutenção da Era Cristã, considerando o ano de nascimento de Cristo o ano 1 dessa era. Cada novo ano inicia-se em 1º de janeiro.
- A correção da duração do ano solar, que era, em média, de 365,25 dias (365 dias e 6 horas) no Calendário Juliano, para 365,2425 dias (365 dias, 5 horas, 49 minutos e 12 segundos). Atualmente, a duração do ano solar é de 365,242190 dias.
- Na compensação da diferença de dias acumulada ao longo dos tempos entre os dois calendários, optou-se pela omissão de dez dias do mês de outubro (de 5 a 14 de outubro de 1582). Assim, o dia seguinte ao 4 de outubro (quinta-feira) foi o dia 15 de outubro (sexta-feira).
- Todo ano divisível por 4 é bissexto, mas os anos centenários (múltiplos de 100) deixam de ser bissextos, com exceção dos anos múltiplos de 400.

A implementação do Calendário Gregoriano foi um processo lento, que ocorreu ao longo de mais de três séculos. Alguns países, como Portugal, Itália e Espanha, aderiram imediatamente ao novo calendário, enquanto a adesão da Suécia só ocorreu em 1753, e a do Japão, somente em 1873.

1. Por que foi necessário substituir o Calendário Juliano?
2. A duração do ano solar no Calendário Gregoriano está de acordo com o valor atual? Justifique.
3. O ano de 2008 foi bissexto (fevereiro com 29 dias). O ano de 2024 será bissexto? Justifique.

Exercícios

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

12. Uma corrida de Fórmula 1 teve início às 9h15min e terminou às 11h05min. Quanto tempo durou essa corrida, em horas e minutos? $t = 1\text{ h }50\text{ min}$

13. Em Astronomia, utiliza-se uma unidade de distância denominada **parsec**, equivalente a 3,26 anos-luz. Considere 1 ano-luz $= 10^{13}$ km. Se uma estrela se encontra a 10 parsecs de distância da Terra:

a) qual é a distância, em quilômetros, dessa estrela à Terra? $d = 3{,}26 \cdot 10^{14}$ km

b) quanto tempo a luz emitida por essa estrela leva para chegar à Terra? $t = 32{,}6$ anos

14. Leia o texto abaixo sobre a unidade de massa do SI.

Quilograma: Entre os romanos, a menor unidade de massa era o ***scrupulum*** (escrópulo em português), que significa pedrinha. Com a expansão do império romano muitos dos povos dominados por eles adotaram as suas unidades de medir, porém nem sempre as escreviam corretamente. *Scrupulum* acabou por ser grafado '*scripulum*', e esse pequeno erro fez toda a diferença. Isso porque *scripulum* foi confundido com *scriptum*, que significa escrita. Mas o que é que isso tem a ver com o grama? Acontece que '*gramma*' em latim significava qualquer signo escrito. Então, por causa dessa analogia enviesada o *scrupulum* virou *gramma*. Muitas palavras usam o sufixo grama com o seu significado original, de signo escrito: Pentagrama, telegrama, programa etc. Outra coisa curiosa é que o grama não é a unidade de base para massa (peso). A unidade de massa é o quilograma, único caso em que um múltiplo assume esse papel. Quilo, do grego *Khilioi*, significa mil.

Almanaque do IPEM-SP: Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo. Disponível em: <ipemsp.wordpress.com/2010/07/26/a-origem-dos-nomes-das-unidades-de-medir>. Acesso em: 20 out. 2015.

a) De acordo com o texto, qual a relação entre quilograma e grama? Expresse essa relação em potência de 10. $1\text{ kg} = 10^3\text{ g}$

b) A massa de um objeto é 800 g. Qual é a massa desse objeto em kg? $m = 0{,}8$ kg

c) Acesse o *site* do Ipem indicado acima e verifique a origem dos nomes das outras unidades de base do SI. Veja resposta no Manual do Professor.

Veja comentários e sugestão de encaminhamento deste tópico no Manual do Professor.

6 Ordem de grandeza e estimativas

Em muitos casos, é suficiente uma noção aproximada do número que exprime o valor de uma grandeza. Por exemplo, os cálculos dos cientistas indicam valores entre 10 bilhões e 20 bilhões de anos para a idade do Universo. Segundo a teoria do *big-bang*, o Universo teve início há cerca de 15 bilhões de anos, ou seja, a idade do Universo é $1{,}5 \cdot 10^{10}$ anos. Como o valor apresentado é uma estimativa, podemos usar somente a potência de 10. Nesse caso, dizemos que a idade do Universo é da ordem de 10^{10} anos. Em outras palavras, a **ordem de grandeza (OG)** da idade do Universo, em anos, é 10^{10}.

A **ordem de grandeza (OG)** é a potência de 10, de expoente inteiro, que mais se aproxima da medida da grandeza analisada.

Qualquer que seja o número x correspondente a uma medida, seu módulo estará entre duas potências inteiras e consecutivas de 10, ou seja:

$$10^n < |x| < 10^{(n+1)}$$

Assim, a ordem de grandeza do número 2 300 ($2{,}3 \cdot 10^3$) é 10^3, porque 2 300 está mais próximo de 1 000 (10^3) do que de 10 000 (10^4). Por outro lado, o número 75 000 ($7{,}5 \cdot 10^4$) possui ordem de grandeza igual a 10^5, porque 75 000 está mais próximo de 100 000 (10^5) do que de 10 000 (10^4).

A ordem de grandeza é uma ferramenta importante quando se trata de estimativas. Ao fazer a estimativa, estamos interessados em obter, de modo prático e rápido, um número aproximado, mas confiável, que nos dê uma ideia do valor da grandeza.

Exercício resolvido

Um professor solicitou a seus alunos que fizessem a estimativa da espessura da folha de um livro e dessem a resposta em metros. Os resultados obtidos pelos alunos foram apresentados em quatro grupos:

I. 10^{-5} m II. 10^{-4} m III. 10^{-3} m IV. 10^{-2} m

Qual dos grupos representou melhor a espessura da folha de papel?

Resolução:

Na prática, observamos que um livro com 600 páginas (300 folhas) possui espessura de aproximadamente 3,0 cm. Assim, a espessura d de uma folha será:

$$d = \frac{3{,}0}{300} = 0{,}01 \text{ cm} = 10^{-4} \text{ m}$$

Portanto, a espessura de uma folha de papel foi mais bem representada pelo grupo II.

Exercícios

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

15. Em uma cidade com 60 mil habitantes, o consumo de energia elétrica por residência, com quatro pessoas em média, é de 120 kWh (quilowatt-hora) por mês. Determine a ordem de grandeza da quantidade de energia elétrica consumida pela cidade em 1 ano.
Consumo: $2{,}16 \cdot 10^7$ kWh; ordem de grandeza: 10^7.

16. Pneus de automóveis têm diâmetro externo de aproximadamente 60 cm. Suponha que um carro equipado com pneus dessa medida faça uma viagem de 360 km. Sabendo que a cada volta completa do pneu a distância percorrida pelo carro é dada por $\pi \cdot d$ (sendo d o diâmetro do pneu), faça, no caderno, uma estimativa da ordem de grandeza do número de voltas de cada pneu nessa viagem. Considere $\pi = 3$. $n = 2 \cdot 10^5$ voltas

17. A dimensão de uma bactéria é da ordem de 1 μm (1 micrômetro). Faça, no caderno, uma estimativa do número de bactérias que cabe em um recipiente com volume de 1 L. Suponha que as bactérias tenham formato cúbico. $x = 10^{15}$ bactérias

Em construção

Veja comentários e respostas das atividades desta seção no Manual do Professor.

Eratóstenes de Cirene e o raio da Terra

A mensuração do meridiano terrestre pelo matemático grego Eratóstenes foi, sem dúvida, o experimento científico mais extraordinário da Antiguidade. Em si, ele é de uma notável engenhosidade, mas demonstra principalmente o alto grau que o gênio racional dos gregos atingiu no século III a.C. Na verdade, a operação efetuada por Eratóstenes no Egito ptolomaico pressupõe duas aquisições maiores. Uma é intelectual: a noção de esfericidade da Terra; a outra é técnica: um instrumento adequado para medir o comprimento do meridiano.

[...] Os cosmologistas gregos elaboraram diversas teorias sobre a forma da Terra, que nos parecem hoje gratuitas e fantasistas, pois elas eram mais racionalizações do que verdadeiras demonstrações científicas.

Para Tales de Mileto (623/624 a.C.-546/548 a.C.), a Terra tinha a forma de um disco e se mantinha sobre a água, sobre a qual flutuava como um navio. Anaximandro (610 a.C.-547 a.C.) afirmava que a Terra era cilíndrica e só a sua parte superior era habitada – o que lhe conferia a forma de um disco plano. [...] Anaxímenes (585 a.C.-528 a.C.) rejeitava essas opiniões e imaginava uma Terra "semelhante a uma mesa", que seria sustentada pela ação do ar sobre suas duas faces.

O primeiro a sugerir que a Terra era esférica foi Pitágoras (570 a.C-496 a.C.) – ou mais exatamente a escola pitagórica de Crotona. [...] Segundo os discípulos de Pitágoras, uma forma esférica teria sido escolhida para a Terra porque "a esfera é a mais bela de todas as figuras sólidas".

[...] No século IV antes da nossa era, Aristóteles foi o primeiro a apresentar, no seu *Tratado do céu*, argumentos precisos para justificar a teoria da esfericidade da Terra: 1) os eclipses da Lua; 2) o viajante que se deslocasse do norte para o sul veria certas constelações abaixarem-se e desaparecerem, enquanto outras surgiam e se elevavam à sua frente, e 3) a Terra tinha que ser esférica por razões de simetria e de equilíbrio.

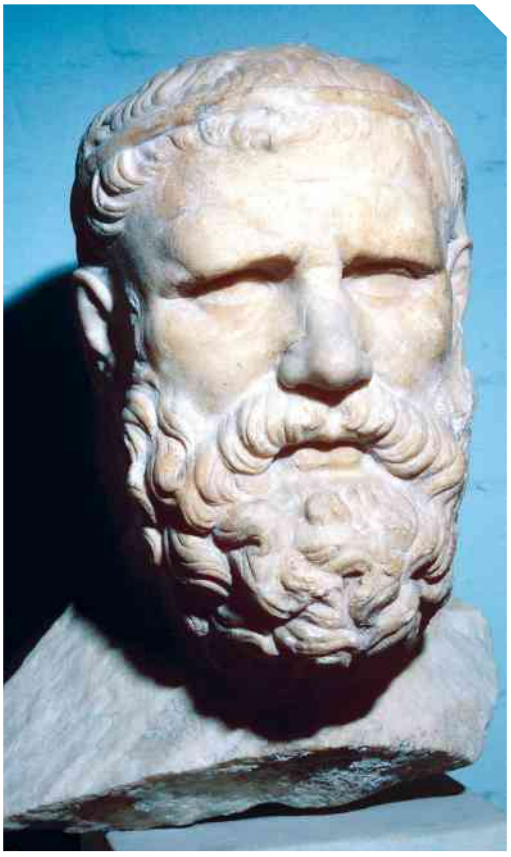
[...] Uma vez admitida a esfericidade da Terra, era preciso achar o meio de determinar as suas dimensões.

RIVAL, Michel. *Os grandes experimentos científicos*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1997. p. 9.

Eratóstenes nasceu no ano 276 a.C., em Cirene, na Grécia, e faleceu em 194 a.C., em Alexandria, no Egito. Realizou seus estudos em Cirene (uma cidade da antiga Grécia; atualmente chama-se Shahhat e pertence à Líbia), Atenas e Alexandria e foi considerado por todos da época um dos maiores gênios do mundo. Passou boa parte de sua vida em Alexandria, onde exerceu o cargo de bibliotecário-chefe da famosa Biblioteca de Alexandria.

Eratóstenes tratou praticamente de todas as ciências do seu tempo. Além da poesia e do teatro, sua obra inclui História, Geografia, Matemática, Astronomia e Filosofia. Na Matemática, inventou o método denominado crivo de Eratóstenes, utilizado para encontrar números primos. Por volta de 235 a.C., realizou o experimento científico no qual calculou o comprimento da circunferência da Terra e obteve a primeira estimativa para o raio da Terra.

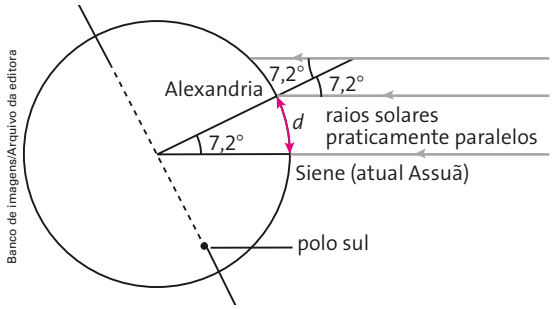
Ao ler alguns papiros na Biblioteca de Alexandria, Eratóstenes descobriu o registro de um fato curioso: na cidade egípcia de Siene (atual Assuã), uma vez por ano, no solstício de verão (época de maior elevação do Sol), precisamente ao meio-dia, uma vara que fosse colocada verticalmente não apresentava sombra. Resolveu então fazer a experiência em Alexandria, no mesmo dia do ano, para ver o que acontecia.



Busto de Eratóstenes (276 a.C. – 194 a.C.).

Ancient Art & Architecture Collection Ltd/Alamy/Latinstock

Pois bem, em Alexandria a sombra nunca chegava a desaparecer; ao meio-dia, o ângulo que os raios solares faziam com a vara vertical era de 7,2°, o que seria impossível, com o Sol extremamente distante, se a Terra fosse plana. Supondo então que a Terra era esférica (hipótese já citada por Aristóteles, sustentada pelo fato de que a sombra projetada pela Terra sobre a Lua nos eclipses era sempre circular), Eratóstenes concluiu que 7,2° era o ângulo formado no centro da Terra pelos raios terrestres de Siene e Alexandria.



Representação esquemática do experimento realizado por Eratóstenes.

Na época, a distância entre Siene e Alexandria era fixada em 5 000 estádios, que correspondem a aproximadamente 789 km (existem algumas divergências sobre a relação entre essas duas unidades, isto é, entre o estádio e o quilômetro).

Como o ângulo de 7,2° é igual à quinquagésima parte do ângulo do círculo (360°), Eratóstenes pôde concluir que a distância *d* (entre Siene e Alexandria) era igual à quinquagésima parte da circunferência terrestre. Portanto, a circunferência terrestre era igual a 50 vezes a distância entre Siene e Alexandria, ou seja 50×789 km $= 39\,450$ km.

Localização de Alexandria e Siene, no Egito



Adaptado de: *Grand atlas historique*. Paris: Larousse, 2006. p. 8.

Hoje, sabemos que a medida do raio da Terra é 6 370 km, o que nos dá uma circunferência de comprimento pouco maior que 40 000 km. Em relação a esses valores, Eratóstenes errou em menos de 2%.

Pesquise e conclua

1. Qual é o significado da palavra "estádio" utilizada para especificar a distância entre Siene e Alexandria? Qual é o valor de 1 estádio no SI?
2. Pesquise em um dicionário o significado da palavra "estádio".
3. Como você explica o fato de que se a Terra fosse plana, ao meio-dia, não haveria sombra da vara vertical nas duas cidades?

Experimento

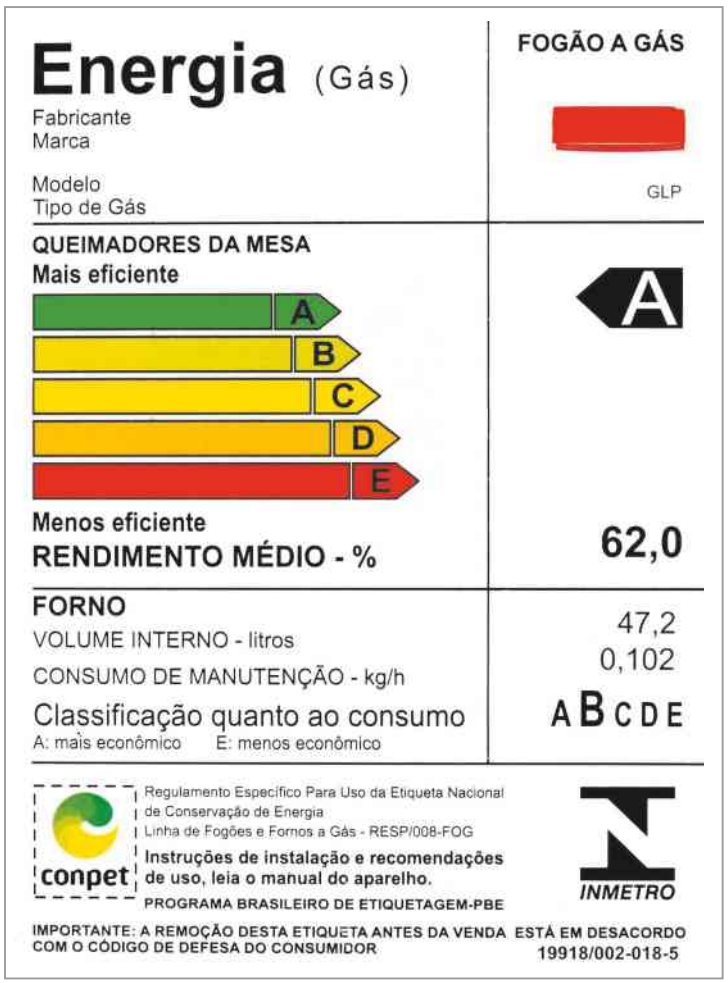
As unidades no cotidiano

Veja comentário no Manual do Professor.

Em particular, esta é uma atividade de campo que consiste em efetuar um levantamento das diferentes unidades com as quais a população em geral convive diariamente e de quais delas as pessoas realmente conhecem o significado. O trabalho deve ser realizado em equipes. Cada equipe vai pesquisar um determinado ramo do comércio.

Deverá ser feito o levantamento das unidades que aparecem nas especificações técnicas ou nos rótulos dos produtos comercializados pelos diferentes segmentos do comércio. Sugerimos, também, que sejam feitas entrevistas com funcionários das lojas visitadas. Por exemplo, em uma loja de eletrodomésticos, pode-se perguntar quais as informações técnicas importantes que um vendedor deve conhecer para realizar corretamente a venda de uma geladeira, de um fogão, de um forno micro-ondas, etc. É interessante, também, entrevistar alguns consumidores para avaliar o grau de entendimento que eles têm das informações técnicas fornecidas pelos fabricantes – as quais sempre envolvem o uso de unidades de medida.

Como sugestão, apresentamos alguns setores a serem visitados: lojas de eletrodomésticos, supermercados, postos de combustíveis, casas de tintas, lojas especializadas em computadores e suprimentos de informática. De acordo com o número de equipes, outros ramos também poderão ser pesquisados.



Jacek<www.kino.com.br>. Acesso em: 28 maio 2013.

Você pode iniciar a pesquisa pelos selos Procel e Inmetro dos equipamentos. Este selo indica a eficiência de um fogão a gás.

Após o trabalho de campo, cada equipe deve preparar um painel para exposição e explicação em sala de aula dos resultados obtidos nas entrevistas. Nessa exposição, alguns pontos deverão ser destacados, tais como:

- o uso de unidades do SI;
- prováveis razões para a não utilização efetiva do SI em cada ramo do comércio;
- quais dessas unidades (do SI ou não) são conhecidas pelo público;
- quais delas exigem um trabalho de esclarecimento para que possam ser interpretadas pelo consumidor;
- a opinião dos alunos a respeito do seguinte aspecto: de que maneira(s) o conhecimento dessas unidades pode contribuir para a construção da cidadania plena?

Retomando

Veja no Manual do Professor o tópico "Atividades complementares" para este capítulo.

18. (Ufla-MG) Todo sistema de unidades é composto por padrões arbitrários de grandezas físicas. Joãozinho, um astuto estudante que mora nos grotões da Serra da Canastra, sabendo disso, criou seu próprio sistema de unidades — o Sistema JACU (Johnny Arbitrary Concepts Units). Para isso, utilizou como medida arbitrária de distância o tchirim (leia-se tirinho de espingarda); de massa, o cadjiquim (leia-se cadiquinho); e de tempo, o minutim (leia-se minutinho). Pode-se afirmar que a grandeza física ENERGIA, no sistema JACU, é dada por:

a) $(\text{tchirim})^1 \cdot (\text{cadjiquim})^2 \cdot (\text{minutim})^{-1}$.
b) $(\text{tchirim})^1 \cdot (\text{cadjiquim})^0 \cdot (\text{minutim})^{-3}$.
x c) $(\text{tchirim})^2 \cdot (\text{cadjiquim})^1 \cdot (\text{minutim})^{-2}$.
d) $(\text{tchirim})^2 \cdot (\text{cadjiquim})^2 \cdot (\text{minutim})^{-2}$.

(Enem) Responda às questões 19 e 20 com base nas informações a seguir.

No quadro abaixo estão as contas de luz e água de uma mesma residência. Além do valor a pagar, cada conta mostra como calculá-lo, em função do consumo de água (em m^3) e de eletricidade (em kWh). Observe que, na conta de luz, o valor a pagar é igual ao consumo multiplicado por um certo fator. Já na conta de água, existe uma tarifa mínina e diferentes faixas de tarifação.

Ilustrações: Banco de imagens/Arquivo da editora

Companhia de Eletricidade

Fornecimento	Valor - R$
401 kWh × 0,13276000	53,23

Companhia de Saneamento

TARIFAS DE ÁGUA/m^3

Faixas de consumo	Tarifa	Consumo	Valor - R$
até 10	5,50	tarifa mínima	5,50
11 a 20	0,85	7	5,95
21 a 30	2,13		
31 a 50	2,13		
acima de 50	2,36		
		Total	11,45

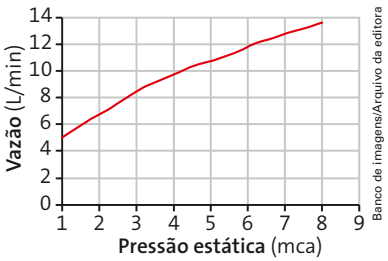
19. Suponha que, no próximo mês, dobre o consumo de energia elétrica dessa residência. O novo valor da conta será:

a) R$ 55,23.
x b) R$ 106,46.
c) R$ 802,00.
d) R$ 100,00.
e) R$ 22,90.

20. Suponha agora que dobre o consumo de água. O novo valor da conta será de:

a) R$ 22,90.
x c) R$ 43,82.
e) R$ 22,52.
b) R$ 106,46.
d) R$ 17,40.

21. (Enem) Uma pessoa lendo o manual de uma ducha que acabou de adquirir para a sua casa, observa o gráfico, que relaciona a vazão na ducha com a pressão, medida em metros de coluna de água (mca).



Banco de imagens/Arquivo da editora

Nessa casa residem quatro pessoas. Cada uma delas toma um banho por dia, com duração média de 8 minutos, permanecendo o registro aberto com vazão máxima durante esse tempo. A ducha é instalada em um ponto seis metros abaixo do nível da lâmina de água, que se mantém constante dentro do reservatório.

Ao final de 30 dias, esses banhos consumirão um volume de água, em litros, igual a:

a) 69 120.
x c) 11 520.
e) 2 880.
b) 17 280.
d) 8 640.

22. A **gramatura** é uma grandeza que diz respeito à robustez do papel, expressa em **g/m²**. A gramatura das folhas de um caderno escolar, por exemplo, fica geralmente entre 50 g/m² e 75 g/m². Esse dado muitas vezes aparece impresso na chamada 4ª capa, isto é, na parte de trás do caderno. Na prática, as pessoas associam a gramatura à espessura da folha de papel; assim, quanto maior a gramatura, mais "grossa" é a folha. Trata-se, portanto, de uma unidade de medida que todo aluno, como consumidor de cadernos, deve conhecer, para entender que diferentes gramaturas indicam:

I. as diferenças de preço existentes entre cadernos com o mesmo número de folhas.
II. folhas mais (ou menos) resistentes ao uso da borracha.
III. folhas mais (ou menos) transparentes, o que é importante para uma folha que será usada na frente e no verso.

Somente está(ão) correta(s) a(s) alternativa(s):

a) I.
c) III.
x e) I, II e III.
b) II.
d) I e II.

UNIDADE 2

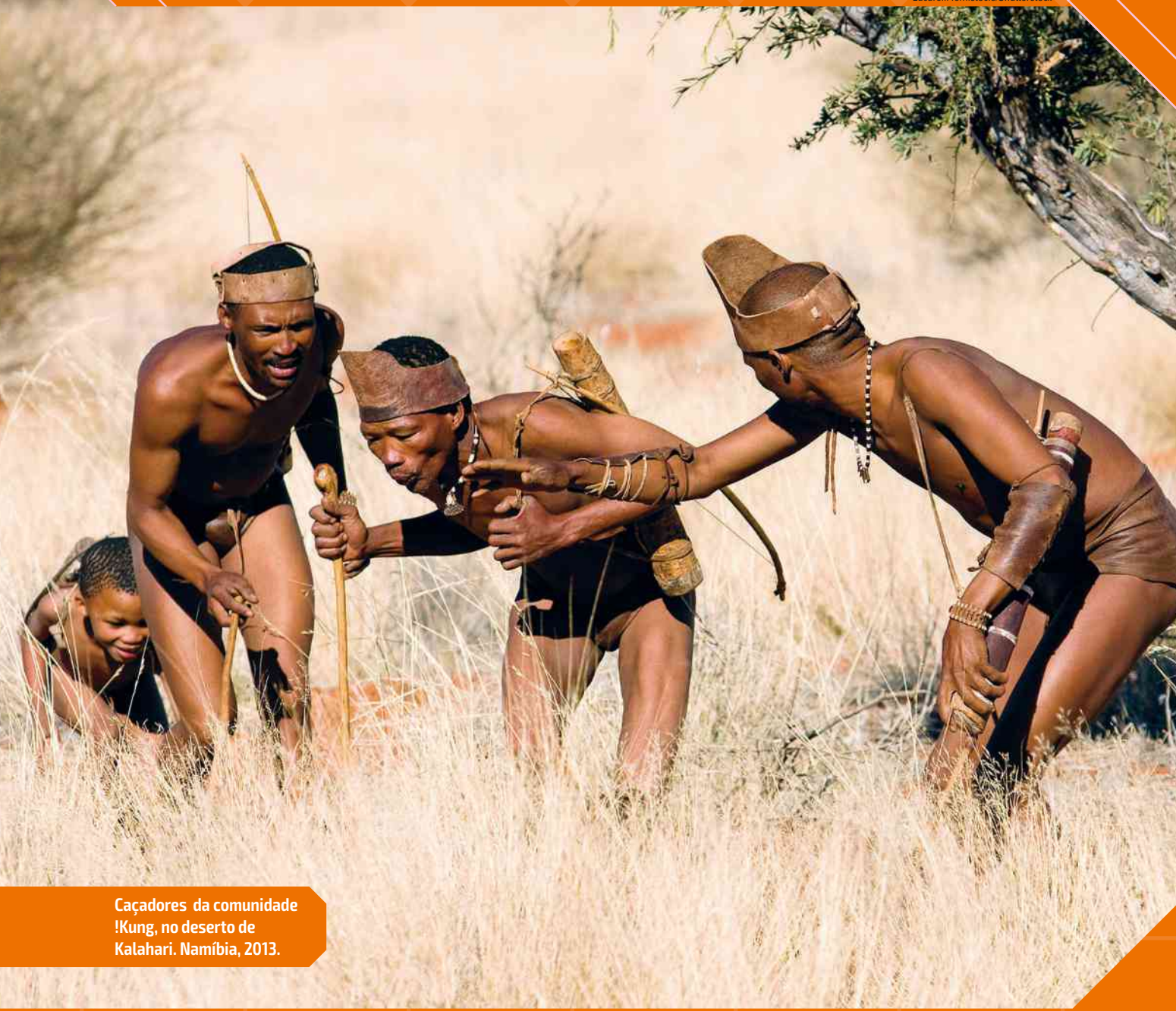
O estudo dos movimentos

CAPÍTULO 3

Movimentos em uma dimensão

Veja comentários, orientações e sugestões sobre este capítulo no Manual do Professor.

Lucarelli Temistocle/Shutterstock



Caçadores da comunidade !Kung, no deserto de Kalahari. Namíbia, 2013.

A imagem mostra o cotidiano dos caçadores da comunidade !Kung, um povo quase extinto do deserto de Kalahari, situado entre Angola, Botsuana e Namíbia. Ao analisar o rastro deixado por animais, eles são capazes de identificá-los, saber quantos são e a que velocidade se deslocam, por exemplo. Como eles obtinham tantas informações com base na simples observação das pegadas dos animais?

Veja sugestão de encaminhamento deste tópico no Manual do Professor.

1 Um pouco da história dos movimentos



Dimitris Tavlikos/Alamy/Other Images

Figura 3.1 Estátua de Aristóteles, no vilarejo de Estagira, na Grécia.

As imagens desta página não estão representadas em proporção.

A natureza sempre fascinou a humanidade. As diferentes maneiras com que explicamos os fenômenos do mundo em que vivemos fazem parte de nossa própria evolução. A simples observação do movimento do Sol possibilitou a compreensão da regularidade dos dias e das noites. A partir do momento em que o movimento dos astros passou a ser acompanhado de maneira mais organizada, tornou-se possível prever a regularidade de fenômenos, como os períodos de frio e de calor ou épocas de seca e de enchente. Essas observações possibilitaram aos povos do antigo Egito a elaboração de um calendário e, com ele, a organização da agricultura com base em três estações – a inundação, a vegetação e a colheita.

A invenção da roda foi, com certeza, um dos passos mais importantes no desenvolvimento da civilização. Assim como a utilização controlada do fogo pode ser vista como a origem da Química, a roda pode ser considerada a origem da Mecânica. Com a roda, tornou-se muito mais fácil produzir movimento; a compreensão das causas dos movimentos, porém, ainda iria demorar mais alguns milhares de anos.

Desde a Antiguidade até as descobertas revolucionárias dos séculos XVI e XVII, muitas foram as tentativas para explicar o movimento. Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.) (**figura 3.1**) é, provavelmente, o nome de maior destaque da Grécia antiga.

Para Aristóteles, os corpos terrestres se moviam graças a uma "tendência natural" – os mais pesados, em direção ao centro da Terra, e os mais leves, afastando-se do centro da Terra. Além desses movimentos naturais, Aristóteles admitia também os "movimentos forçados", isto é, contrários à natureza, aqueles provocados, por exemplo, pelo ser humano. Para os corpos celestes, Aristóteles atribuía o movimento circular, pois o círculo representa a forma ideal e perfeita.

No século XIV, a Escola de Oxford, na Inglaterra, e a Escola Parisiense, na França, deram importantes contribuições para o estudo dos movimentos. Os mertonianos (membros do Merton College, de Oxford – **figura 3.2**) realizaram pesquisas que avançaram na aplicação de conhecimentos matemáticos ao estudo da velocidade e da aceleração nos movimentos.

Figura 3.2 Merton College, na Inglaterra, fundado em 1264.



Washington Imaging/Alamy/Other Images

Foi assim que, por volta de 1350, surgiu a denominação de **movimento uniformemente disforme**, significando o movimento em que a velocidade varia quantidades iguais em tempos iguais. Nessa época, as demonstrações eram essencialmente geométricas, pois o estudo do movimento por meio da álgebra somente seria possível com a geometria analítica de René Descartes (figura 3.3) no século XVI e do cálculo diferencial de Isaac Newton (1643-1727), no século XVII.

Os professores da chamada Escola Parisiense, por sua vez, contribuíram com a teoria da **impulsão**. Ao lançar um objeto, fornecemos a ele certa impulsão, que vai se esgotando à medida que ele se move.

Podemos dizer que o século XVI marcou o início da revolução científica na Física. Em 1543, no livro *Das revoluções dos corpos celestes*, Nicolau Copérnico (figura 3.4), um monge polonês, postulou o **heliocentrismo** (a Terra e os demais planetas do Sistema Solar girando em torno do Sol), em oposição à ideia aceita na época, que era a do **geocentrismo** (a Terra como centro do Universo).



Album/Oronoz/Latinstock

Figura 3.3 Retrato de René Descartes (1596-1650), filósofo, físico e matemático francês.



Jan Matejko/Museu Nicolau Copérnico, Polônia/The Bridgeman/Keystone

Figura 3.4 O astrônomo Nicolau Copérnico (1473-1543) conversando com Deus, pintura feita em 1832 pelo polonês Jan Matejko.

No final do século XVI, Galileu Galilei (1564-1642) realizou uma série de experimentos sobre a queda dos corpos e mostrou que a doutrina aristotélica de que os corpos mais pesados chegam ao solo antes dos mais leves estava errada, dando assim uma grande contribuição para o entendimento de como e por que os corpos se movimentam. Geralmente, o conhecimento científico se acumula, e a produção de uma nova teoria se apoia nos trabalhos já existentes, ainda que alguns se destaquem mais do que outros. Assim, os trabalhos de pensadores importantes, como Aristóteles, Ptolomeu, Copérnico, Descartes, Kepler, Galileu e muitos outros, contribuíram significativamente para que, no século XVII, Newton lançasse as bases da gravitação universal – movimento dos corpos celestes – e as leis dos movimentos dos corpos terrestres. O reconhecimento de Newton para com os seus predecessores pode ser sintetizado na sua frase:

> "Somente consegui enxergar mais longe porque me apoiei nos ombros de gigantes."

Com o advento do século XVII nascia a ciência moderna, e a humanidade pôde então começar a entender e descrever melhor a mecânica do Universo. No limiar do século XX, a teoria da relatividade de Albert Einstein (1879-1955) trouxe novas perspectivas para o estudo dos movimentos.

No século XX, os conhecimentos científicos e a tecnologia experimentaram um desenvolvimento sem precedentes, mas nem por isso as teorias estão prontas e acabadas. A História nos mostra que elas refletem o momento histórico em que foram concebidas.

Atualmente, a parte da Física que estuda os movimentos é denominada **Mecânica** e, dentro dela, temos a Cinemática, que estuda os movimentos sem levar em conta as causas que os provocam. Para fins didáticos, estudaremos a Cinemática em duas partes: Cinemática escalar, na qual levamos em conta somente o valor numérico da velocidade, sem nos preocuparmos com sua direção, e Cinemática vetorial, em que todas as características da velocidade (valor numérico, direção e sentido) são levadas em conta.

Exercícios

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Quando se joga uma pedra para cima, ela sobe até certa altura e, em seguida, cai em direção ao solo. De acordo com Aristóteles, a pedra é um corpo pesado e, portanto, o seu lugar natural é no solo (Terra). Nessas condições, utilizando as ideias de Aristóteles, classifique o movimento da pedra na subida e na descida. Para cima: movimento forçado (violento). Descida: movimento natural.

2. De acordo com os mertonianos, no movimento uniformemente disforme, a velocidade varia em quantidades iguais em tempos iguais.
Construa, no caderno, uma tabela que exemplifique um movimento uniformemente disforme no intervalo de 0 s a 15 s. Veja resposta e comentário no Manual do Professor.

3. Analise as afirmativas seguintes e reescreva no caderno a(s) incorreta(s), corrigindo-a(s). Veja resposta completa no Manual do Professor.

I. Nicolau Copérnico foi um dos maiores defensores do geocentrismo, teoria segundo a qual a Terra seria o centro do Universo.

II. Com o nascimento da ciência moderna no século XVII, ficaram resolvidos todos os problemas da mecânica do Universo.

III. A teoria da relatividade de Albert Einstein, lançada no início do século XX, substituiu as leis de Newton para os movimentos.

IV. No século XXI, podem surgir novas ideias e teorias sobre o estudo dos movimentos. Correta.

2 Localização

Veja sugestão de encaminhamento deste tópico no Manual do Professor.

Você já deve ter notado a quantidade de siglas e números associados à nossa vida. Uma casa, por exemplo, é localizada na rua por um número, e uma rua pode ser identificada em uma cidade por um Código de Endereçamento Postal (CEP).

Parece evidente que o objetivo de tantos números é a identificação ou a localização correta de uma pessoa ou um local. Mas essa necessidade é um reflexo da vida moderna. No passado, as pessoas eram identificadas apenas pelo primeiro nome e, em alguns casos, acrescentava-se o nome do pai ou o nome da cidade de nascimento, como Salomão filho de Davi, Pitágoras de Samos, Aristóteles de Estagira e Tales de Mileto. Hoje, não utilizamos apenas o nome para identificar uma pessoa, pois o número de pessoas homônimas (isto é, que têm o mesmo nome) é muito grande.

Por estarem sempre se movimentando de um lugar para outro, os seres humanos foram desenvolvendo, ao longo dos anos, mecanismos de orientação. Uma das formas de orientação utilizadas há mais tempo baseia-se na observação do Sol, durante o dia, e das estrelas, à noite. Os navegadores da Antiguidade, além das observações astronômicas, usavam sondagens e a direção dos ventos, das correntes marítimas e dos pássaros em migração. A partir do século XII, o emprego da bússola tornou a navegação mais rápida e segura, ocasionando uma grande expansão do comércio mundial (**figura 3.5**).

No Brasil de hoje, o meio de transporte mais comum é o rodoviário. Praticamente todas as rodovias, sejam elas federais, sejam estaduais, são identificadas por uma sigla e um número. De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (Dnit), a nomenclatura das 150 (aproximadamente) rodovias federais é definida pela sigla BR seguida de três algarismos; o primeiro algarismo indica a categoria e os dois últimos definem a posição da rodovia (**figura 3.6**). Nas rodovias estaduais, cada Estado utiliza o seu método de identificação.



Scorpp/Shutterstock

Figura 3.5 Luneta, bússola e **sextante** utilizados na navegação.



Luciana Whitaker/Pulsar Imagens

Figura 3.6 Marco quilométrico 131 da rodovia federal BR-116, no estado do Rio de Janeiro.

Sextante* – Instrumento óptico de reflexão, cujo limbo graduado ocupa a sexta parte do círculo (60 graus) e que permite medir, a bordo de um navio ou de uma aeronave, a altura dos astros e suas medidas angulares, não obstante a instabilidade do observador.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Exercícios

4. Três amigos, que moram em Brasília-BR, resolveram fazer uma viagem de carro pela América do Sul. O primeiro destino foi a cidade de Assunção, no Paraguai. Em seguida, dirigiram-se para a cidade de La Paz, na Bolívia, e, finalmente, retornaram a Brasília.

Mapa da América do Sul (parcial)



Banco de imagens/Arquivo da editora

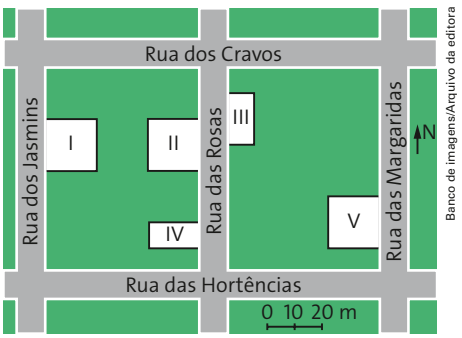
Fonte: *Atlas geográfico escolar*. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. (Adaptado.)

Com base na orientação dos pontos cardeais mostrada na figura, indique no seu caderno os sentidos dos movimentos em cada trecho: Brasília-Assunção; Assunção-La Paz e La Paz-Brasília. Sudoeste, noroeste, leste.

5. (Enem) Um leitor encontra o anúncio ao lado entre os classificados de um jornal.

VILA DAS FLORES
Vende-se terreno plano medindo 200 m². Frente voltada para o sol no período da manhã. Fácil acesso.
(443) 0677 - 0032

Interessado no terreno, o leitor vai ao endereço indicado e, lá chegando, observa um painel com a planta a seguir, onde estavam destacados os terrenos ainda não vendidos, numerados de I a V:



Banco de imagens/Arquivo da editora

Considerando as informações do jornal, é possível afirmar que o terreno anunciado é o:

a) I.
b) II.
X d) IV.
c) III.
e) V.

* *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009.

Veja sugestão de encaminhamento e respostas das questões desta seção no Manual do Professor.

Sistema de Posicionamento Global (GPS)

O Sistema de Posicionamento Global (GPS, sigla inglesa para *Global Positioning System*) é um sistema de localização e navegação baseado em sinais de rádio que utiliza 24 satélites, em órbita da Terra a uma altitude de 20 200 km, e estações associadas em terra. Esses satélites servem de pontos de referência para os receptores terrestres e possibilitam a determinação de posições precisas, em três dimensões, além de velocidade e tempo, em qualquer parte do mundo, durante as 24 horas do dia.

O sistema foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos e é controlado por esse órgão desde o lançamento do primeiro satélite Navstar, em 1978. Inicialmente, o objetivo principal era possibilitar que usuários militares se orientassem em terra, no mar e no ar com grande precisão.



Boris Rabtsevich/Shutterstock

Representação artística das órbitas dos satélites que integram o GPS; sem escala e em cores fantasia.

Hoje, milhões de pessoas, a maioria civis, utilizam o GPS para conferir sua posição — principalmente topógrafos e geofísicos, no mapeamento de territórios. A agricultura já pode dispor de tratores comandados automaticamente por GPS, e o sistema já foi estendido a carros e aviões.

Uma curiosidade é que um mesmo satélite transmite dois sinais, um para uso nos GPS de navegação e posicionamento global (menos preciso) e outro capaz de alcançar e obter valores de coordenadas mais precisos; a diferença é que este último utiliza processamento de dados mais complexos.

Pincasso/Shutterstock/Glow Images



O navegador GPS é hoje um equipamento comum no painel dos automóveis. Além da localização, aparelhos desse tipo podem também fornecer opções de trajeto.

1. Quais são as principais vantagens e desvantagens na utilização de um GPS para a localização de um corpo na Terra?
2. De que maneiras o GPS pode contribuir para o combate à criminalidade?

Veja sugestões de encaminhamento deste tópico no Manual do Professor.

3 Movimento, repouso e trajetória

Analise a tirinha da **figura 3.7**. Observe que, em relação ao *skate*, ele está em repouso; mas, em relação ao solo, está em movimento com o *skate*. Afinal, Cascão está ou não em movimento? Seria possível realizar um experimento para comprovar se **realmente** ele está em movimento? Em outras palavras, é possível determinar o movimento absoluto de um corpo, ou somente podemos determinar seu movimento relativo em relação a outro corpo?

Portanto, a localização de um móvel não permite dizer se ele está ou não em movimento. Um móvel se encontra em movimento em relação a determinado referencial quando ele muda de posição no decorrer do tempo. Se, durante determinado intervalo de tempo, a sua posição permanece inalterada, ele está em repouso para esse referencial.



Mauricio de Sousa/Mauricio de Sousa Produções Ltda.

Figura 3.7 Cascão está parado ou em movimento?

Trajetória

Quando uma pessoa caminha na areia, ela deixa "pegadas" por onde passa (**figura 3.8**).

Essas "pegadas" indicam a sua trajetória, isto é, indicam se o corpo se movimenta em linha reta ou em curva. Além disso, o espaçamento entre as "pegadas" pode nos fornecer informações a respeito da velocidade do corpo, mostrando se ela permaneceu constante, se aumentou ou diminuiu. Com todos esses dados, podemos prever onde o corpo estará em determinado instante ou quanto tempo será necessário para alcançá-lo.



Gerashcenko Kostiantyn/Shutterstock/Glow Images

Saddako/Shutterstock/Glow Images

Figura 3.8 Assim como as pegadas que uma pessoa deixa na areia (a), os rastros de fumaça produzidos por aviões em voos de exibição (b) evidenciam a trajetória de um corpo em movimento.

Exercícios

6. Depende do referencial. Para Heloísa, todos os passageiros estão em repouso, e o que está fora do ônibus está em movimento. Para Abelardo, o ônibus e os passageiros dentro dele estão em movimento.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

6. (UFRJ) Heloísa, sentada na poltrona de um ônibus, afirma que o passageiro sentado à sua frente não se move, ou seja, está em repouso. Ao mesmo tempo, Abelardo, sentado à margem da rodovia, vê o ônibus passar e afirma que o referido passageiro está em movimento.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

De acordo com os conceitos de movimento e repouso usados em Mecânica, explique de que maneira devemos interpretar as afirmações de Heloísa e Abelardo para dizer que ambas estão corretas.

7. Imagine a seguinte experiência: um marinheiro deixa cair uma chave do alto do mastro de um barco. Em relação a esse fato, apresentamos as seguintes considerações:

X I. Se o barco estiver em repouso, a chave cairá exatamente ao pé do mastro e sua trajetória é retilínea.

II. Se o barco estiver em movimento, a chave cairá em um ponto próximo da popa do barco e sua trajetória é parabólica.

III. Para uma pessoa fora do barco, independentemente de o barco estar em repouso ou em movimento,a trajetória da chave é retilínea.

Qual(is) consideração(ões) está(ão) correta(s)? Justifique.

Veja comentários e sugestões de encaminhamento deste tópico no Manual do Professor.

4 Espaço, deslocamento e velocidade

Vamos desenvolver os conceitos de espaço, deslocamento e velocidade levando em conta que o móvel realiza um movimento unidimensional.

Movimento unidimensional é aquele que acontece ao longo de uma linha. Por exemplo, nas rodovias, a localização é feita por meio de placas correspondentes aos marcos quilométricos. Assim, uma placa com a indicação "km 407" (figura 3.9) nos informa que aquele ponto se encontra a 407 km do marco zero (origem) da rodovia, adotado como referencial.



Cesar Diniz/Pulsar Imagens

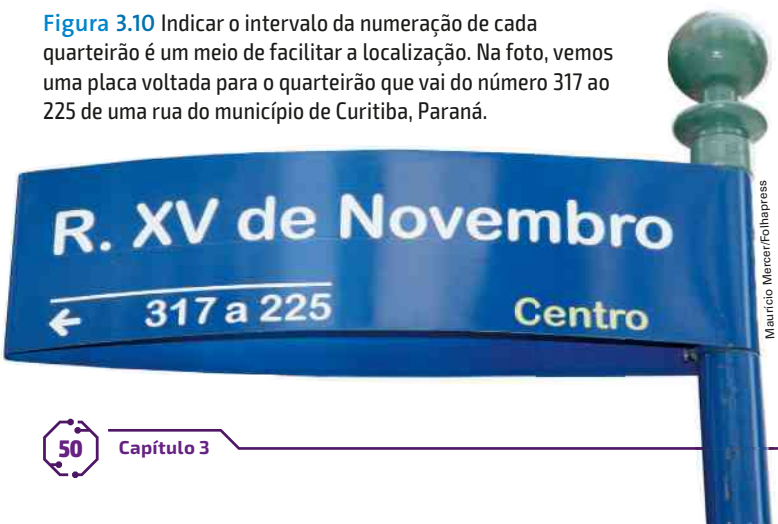
Figura 3.9 Este ponto se encontra a 407 km do marco zero da rodovia.

Nas ruas, a numeração das casas obedece a critérios preestabelecidos. De modo geral, a numeração aumenta no sentido centro-bairro, e o número da casa indica aproximadamente a distância, em metros, daquele ponto ao início da rua, adotado como referencial. Assim, a numeração é feita de tal maneira que os números pares são colocados no sentido crescente à direita de quem olha para o final da rua.

Nos dois exemplos citados, a localização de um móvel é feita com **uma única coordenada**: a indicação da placa (figura 3.10) ou o número da casa. Essa é a característica do movimento unidimensional: uma única coordenada define a posição do móvel. Essa coordenada — uma medida algébrica positiva ou negativa — recebe o nome de **espaço**, que representaremos pela letra *S*.

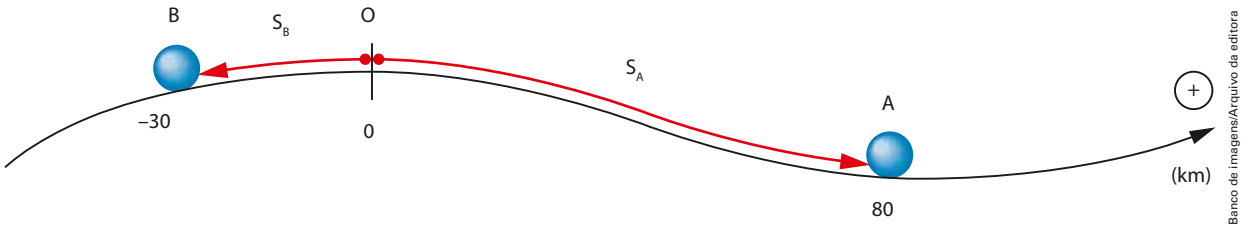
O espaço *S* é a medida algébrica da distância, obtida ao longo da trajetória, do ponto onde se encontra o móvel ao ponto de referência adotado como origem (*O*).

Figura 3.10 Indicar o intervalo da numeração de cada quarteirão é um meio de facilitar a localização. Na foto, vemos uma placa voltada para o quarteirão que vai do número 317 ao 225 de uma rua do município de Curitiba, Paraná.



Mauricio Mercer/Folhapress

Na figura 3.11, o espaço do móvel na posição *A* é $S_A = 80$ km, e o espaço do móvel na posição *B* é $S_B = -30$ km. Assim, podemos dizer que, se o móvel está no ponto *A*, ele está a 80 km à direita do ponto de referência, e estando no ponto *B*, está a 30 km à esquerda do mesmo ponto de referência. A orientação "positivo para a direita" é arbitrária, isto é, dependendo da situação, podemos adotar livremente a orientação "positivo para a esquerda".



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 3.11 Representação esquemática do espaço de um móvel.

A unidade do espaço é qualquer unidade de medida de comprimento. Portanto, podemos usar milímetro (mm), centímetro (cm), metro (m), quilômetro (km), etc.

Se o móvel modifica sua posição, o espaço varia. Nesse caso, dizemos que o móvel sofreu um **deslocamento escalar**, que representamos por ΔS, dado pela diferença entre o espaço final S_f e o espaço inicial S_i:

$$\Delta S = S_f - S_i$$

O deslocamento escalar pode ser positivo, negativo ou nulo; nem sempre ele equivale à **distância** efetivamente percorrida pelo móvel, que é sempre positiva; na verdade, essa equivalência só acontece quando o móvel se movimenta sempre no mesmo sentido e a favor da orientação da trajetória.

Para refletir
Na sua opinião, qual é a diferença entre deslocamento escalar e distância percorrida?

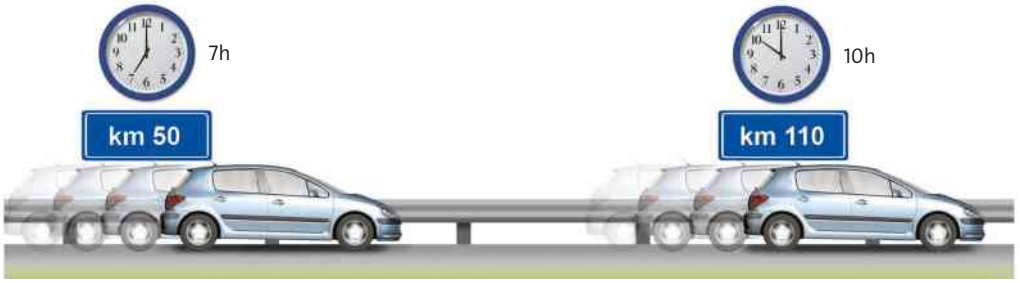
Veja resposta no Manual do Professor.

Velocidade

A primeira ideia que fazemos de velocidade está associada à rapidez. Quanto maior a velocidade de um carro, mais rápido ele se movimenta e, portanto, maior é a distância percorrida por ele em dado intervalo de tempo. Essa ideia nos remete ao valor numérico da velocidade, aquele indicado no velocímetro dos automóveis. Se um carro parte de uma cidade com o velocímetro sempre indicando 60 km/h, aproximadamente, será que podemos afirmar, com segurança, que após duas horas o carro vai estar a 120 km do ponto de partida? A resposta é: não, a menos que tenhamos o conhecimento prévio da direção e do sentido do movimento. O velocímetro de um automóvel indica o valor numérico da velocidade em determinado instante (velocidade instantânea), sem levar em conta para onde o veículo se movimenta.

Para que a velocidade possa ser usada como fator fundamental para a localização de um móvel, em movimento unidimensional, é preciso associá-la ao deslocamento escalar e não à distância percorrida. Isso nos leva ao conceito de **velocidade escalar média**, representada por $\boldsymbol{v_m}$. Vejamos um exemplo.

Um carro parte às 7h de um ponto localizado no km 50 de uma rodovia, e, às 10h, ele se encontra no km 110 (figura 3.12).



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 3.12 Representação esquemática (sem escala e em cores fantasia) do movimento do carro em uma rodovia.

De acordo com essas informações, determinamos que o deslocamento do carro foi de 60 km (isto é, 110 km − 50 km) em um intervalo de tempo de 3 h (decorridas entre 7h e 10h). Logo, podemos afirmar que, em média, o carro se deslocou 20 km a cada hora. Esse resultado (20 km/h) é o valor da velocidade escalar média.

Hodômetro – Instrumento que indica distâncias percorridas.

Observe que, para o cálculo da velocidade escalar média, não interessa o que se passou com o carro durante essas três horas de percurso. Mesmo que o **hodômetro** do carro indique uma distância percorrida de, por exemplo, 200 km, ela não é levada em conta. Para o cálculo da velocidade escalar média somente interessam o deslocamento escalar e o correspondente intervalo de tempo.

Assim, a velocidade escalar média (v_m) é dada pela relação entre o deslocamento escalar (ΔS) e o correspondente intervalo de tempo (Δt). Em símbolos, temos:

$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de velocidade é o **metro por segundo (m/s)**, mas é muito comum no dia a dia o emprego da unidade **quilômetro por hora (km/h)**. Pode-se demonstrar que 1 m/s é equivalente a 3,6 km/h. Para isso, devemos lembrar que 1 km = 1000 m e que 1 h = 3600 s. Portanto:

$$1\frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1000\,\text{m}}{3600\,\text{s}} = \frac{1\,\text{m}}{3{,}6\,\text{s}} \Rightarrow 1\frac{\text{m}}{\text{s}} = 3{,}6\frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Isso significa dizer que para transformar o valor da velocidade de m/s para km/h, devemos multiplicar por 3,6, e para transformar de km/h para m/s, dividimos por 3,6. Exemplos:

- 20 m/s $\Rightarrow$ 20 $\times$ 3,6 = 72 km/h;
- 90 km/h $\Rightarrow$ 90 $\div$ 3,6 = 25 m/s.

Embora os velocímetros indiquem sempre um valor positivo para a velocidade, a velocidade escalar média pode ser positiva, negativa ou nula, pois ela acompanha o sinal do deslocamento. Um deslocamento positivo (isto é, no mesmo sentido da orientação da trajetória) implica uma velocidade escalar média positiva, e um deslocamento negativo (sentido contrário ao da orientação da trajetória) implica uma velocidade escalar média negativa. Se o espaço final (S_f) coincidir com o espaço inicial (S_i), o deslocamento escalar é nulo, assim como a velocidade escalar média. O fato de a velocidade escalar média ser nula não implica, necessariamente, que o móvel não tenha se movimentado.

Exercício resolvido

1. Uma cidade *A* está situada no km 160 de uma rodovia. Se um carro parte dessa cidade e desenvolve uma velocidade escalar média de 70 km/h, em módulo, determine a sua posição, após 2,0 h de percurso, nas seguintes condições:

a) o carro movimenta-se no sentido da orientação da rodovia;

b) o carro movimenta-se no sentido contrário à orientação da rodovia.

Resolução:

As duas situações citadas estão representadas (sem escala e em cores fantasia) na figura seguinte. Na condição **a**, a velocidade é considerada positiva, e na condição **b**, a velocidade é considerada negativa.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

a) $v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow 70 = \frac{\Delta S}{2{,}0} \Rightarrow \Delta S = 140 \text{ km}$

b) $v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow -70 = \frac{\Delta S}{2{,}0} \Rightarrow \Delta S = -140 \text{ km}$

Então, para obter a posição do carro na rodovia após 2,0 h de percurso, basta lembrar que $\Delta S = S_f - S_i$. Assim, temos:

a) $\Delta S = S_f - S_i \Rightarrow 140 = S_f - 160 \Rightarrow S_f = 300 \text{ km}$

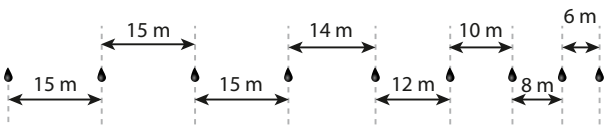
b) $\Delta S = S_f - S_i \Rightarrow -140 = S_f - 160 \Rightarrow S_f = 20 \text{ km}$

Portanto, se o carro parte do km 160 e movimenta-se no sentido da orientação da rodovia, após 2,0 h vai estar no km 300. Se ele se movimentar no sentido contrário à orientação da rodovia, vai estar no km 20.

Exercícios

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

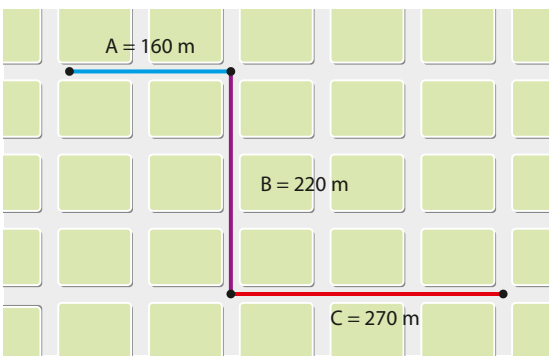
8. Devido a um vazamento, uma gota de óleo cai a cada segundo de um carro em movimento. A figura seguinte mostra a posição de nove gotas consecutivas.



Determine a velocidade escalar média do carro durante todo o trajeto mostrado na figura. $v_m = 12$ m/s

9. Para fiscalizar excessos de velocidade em uma rodovia, um policial dispõe de duas marcas separadas por 1000 m. Com um cronômetro, ele mede o intervalo de tempo gasto pelos carros entre essas duas marcas. Sabendo que a velocidade máxima permitida nessa rodovia é de 100 km/h, responda: se, para determinado carro, o cronômetro registrou um tempo de 32 s, esse carro excedeu ou não o limite de velocidade? Justifique. O limite foi excedido.

10. A figura a seguir (fora de escala) ilustra trechos de algumas ruas de uma região plana de uma cidade, onde uma pessoa faz caminhadas todas as tardes.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Quanto tempo, em minutos, ela demora para fazer o percurso *ABC*, mostrado na figura, se ela caminha, em média, 100 m por minuto? $\Delta t = 6{,}5$ min

5 Aceleração

Veja orientações e sugestões de encaminhamento deste tópico no Manual do Professor.

Algumas pessoas têm verdadeiro pavor das altas velocidades. No entanto, o que realmente incomoda essas pessoas não é a velocidade em si, mas sim suas variações. Por exemplo, em algumas viagens de avião, a velocidade é superior a 800 km/h em relação ao solo, e as pessoas movimentam-se tranquilamente nele, como se o avião estivesse parado. Em outras situações, as pessoas têm prazer em sentir os efeitos das variações de velocidade, como no caso daqueles que vão aos parques de diversões em busca de brinquedos "radicais" (**figura 3.13**). Você pode imaginar como seria um passeio em uma montanha-russa se o carrinho subisse e descesse sempre com a mesma velocidade? Certamente, não teria graça.

Karl F. Schšfmann/Glowlmages



Figura 3.13 As sensações que experimentamos em uma montanha-russa são decorrentes de variações de velocidade.

Geralmente, a palavra "aceleração" é associada a um aumento de velocidade. No cotidiano, acelerar significa aumentar a velocidade. Entretanto, em ciências o termo **acelerar** possui um sentido mais amplo. Na Física, quando ocorre mudança na velocidade de um corpo, dizemos que existe **aceleração**. Aceleramos quando produzimos um aumento na velocidade (**figura 3.14**), aceleramos quando produzimos uma diminuição na velocidade (**figura 3.15**) e aceleramos quando fazemos uma alteração na trajetória, mesmo que o valor da velocidade permaneça constante.

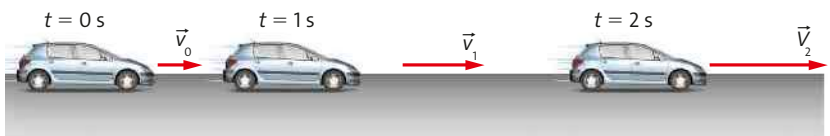


Figura 3.14 Representação de um carro aumentando sua velocidade. Sem escala, em cores fantasia.

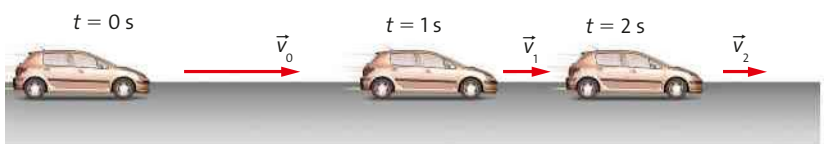


Figura 3.15 Representação de um carro diminuindo sua velocidade. Sem escala, em cores fantasia.

Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Para efeitos didáticos, vamos separar o estudo das variações de velocidade — a aceleração — em dois casos distintos: no primeiro, as variações ocorrem somente no valor numérico da velocidade, e, no segundo caso, as variações ocorrem somente na direção da velocidade. Neste capítulo estudaremos somente o primeiro caso. O segundo caso será tratado nos movimentos curvilíneos, no capítulo seguinte.

Aceleração escalar

Geralmente, as revistas especializadas publicam resultados de testes realizados com os mais diversos modelos de automóveis. Entre outras informações técnicas, podemos observar que os automóveis de pequeno porte fazem de 0 km/h a 100 km/h em aproximadamente 16 s. Essa informação significa que, partindo do repouso, o carro demora 16 s para atingir a velocidade de 100 km/h. Em outras palavras, podemos dizer que, em média, a velocidade do carro aumenta 6,25 km/h a cada segundo. Esse valor, 6,25 (km/h)/s $\left(\text{resultado de } \frac{100\text{ km/h}}{16\text{ s}}\right)$, representa a variação da velocidade escalar por unidade de tempo e é denominado **aceleração escalar média (a_m)**.

Assim, se um móvel possui velocidade escalar instantânea v_1 no instante t_1 e, após um intervalo de tempo Δt, possui velocidade escalar instantânea v_2 no instante t_2, a aceleração escalar média é dada pela razão entre a variação de velocidade escalar instantânea (Δv) e o intervalo de tempo correspondente (Δt):

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

No SI, a unidade de aceleração é (m/s)/s = m/s². Assim, o automóvel do exemplo anterior possui uma aceleração dada por:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{100 - 0}{\frac{3{,}6}{16}} \Rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta t} = 1{,}7\text{ m/s}^2$$

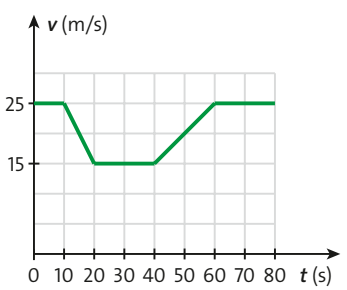
Quando consideramos a aceleração escalar em determinado instante, e não em um intervalo de tempo, ela recebe a denominação de **aceleração escalar instantânea (a)**.

Algumas observações são necessárias:

- A aceleração não indica o sentido do movimento, apenas mostra com que rapidez a velocidade varia.
- A aceleração é uma grandeza algébrica, ou seja, pode ser positiva, negativa ou nula. Uma aceleração positiva não significa, obrigatoriamente, que a velocidade esteja aumentando. Do mesmo modo, uma aceleração negativa não significa, obrigatoriamente, que a velocidade esteja diminuindo.

Trabalho em equipe

O motorista de um automóvel que trafegava com velocidade de 90 km/h (25 m/s), ao ver uma placa informando um desvio à frente, reduz a velocidade do automóvel para 54 km/h (15 m/s). Ao final do desvio, o motorista acelera e retorna à velocidade de 90 km/h. A figura mostra o comportamento da velocidade em função do tempo de acordo com essas informações.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Reúna-se com um colega e respondam às seguintes questões:

a) Qual foi o intervalo de tempo desde o início da redução da velocidade até o automóvel voltar à velocidade de 90 km/h? Entre $t = 10$ s e $t = 60$ s.

b) Calcule a aceleração escalar média no intervalo de 10 s a 20 s, no intervalo de 20 s a 60 s e no intervalo de 0 a 80 s. De 10 s a 20 s: $a_m = -1{,}0$ m/s²; de 20 s a 60 s: $a_m = 0{,}25$ m/s²; de 0 a 80 s: $a_m = 0$ m/s².

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

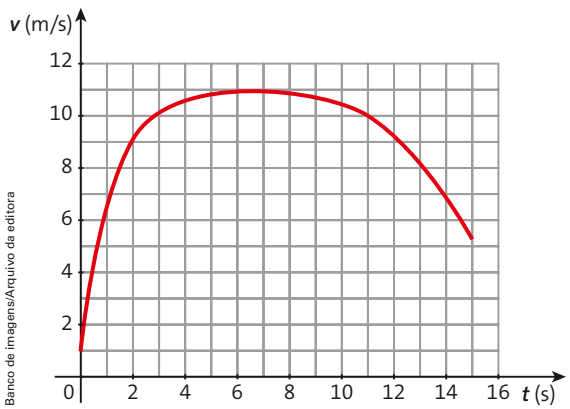
11. Analise as afirmativas seguintes e indique aquelas em que o movimento descrito certamente apresenta aceleração.

X I. Um automóvel faz uma viagem de 400 km. Os primeiros 250 km são percorridos com uma velocidade média de 100 km/h. Após uma parada de 30 minutos, a viagem é reiniciada, e os 150 km restantes são percorridos com velocidade média de 75 km/h.

X II. Um ciclista efetua 20 voltas em um circuito circular com velocidade constante de 30 km/h.

III. Um automóvel move-se durante 20 minutos em uma estrada retilínea com o velocímetro indicando sempre 80 km/h.

(Enem) Em uma prova de 100 m rasos, o desempenho típico de um corredor padrão é representado pelo gráfico a seguir:



Banco de imagens/Arquivo da editora

Com base no gráfico, responda às questões 12 e 13.

12. Em que intervalo de tempo a velocidade do corredor é aproximadamente constante?

a) Entre 0 e 1 s.
b) Entre 1 e 5 s.
X c) Entre 5 e 8 s.
d) Entre 8 e 11 s.
e) Entre 12 e 15 s.

13. Em que intervalo de tempo o corredor apresenta aceleração máxima?

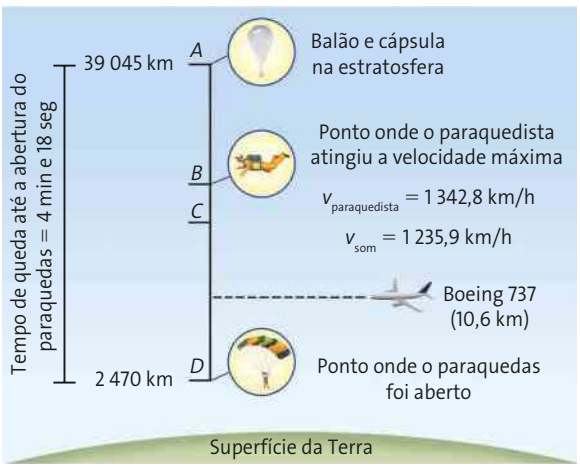
X a) Entre 0 e 1 s.
b) Entre 1 e 5 s.
c) Entre 5 e 8 s.
d) Entre 8 e 11 s.
e) Entre 9 e 15 s.

14. Caçador nato, o guepardo é uma espécie de mamífero que reforça a tese de que os animais predadores estão entre os mais velozes da natureza. Afinal, a velocidade é essencial para os que caçam outras espécies em busca de alimento. O guepardo é capaz de, saindo do repouso e correndo em linha reta, chegar à velocidade de 72 km/h em apenas 2,0 s, o que nos permite concluir que o módulo de sua aceleração escalar média, em m/s², é igual a:

X a) 10.
b) 15.
c) 18.
d) 36.
e) 50.

15. (UFJF-MG) Em outubro de 2012, o austríaco Felix Baumgartner se tornou o primeiro homem a romper a barreira do som ao saltar de uma cápsula presa a um balão, a mais de 39 km acima da superfície da Terra. Durante a queda, Baumgartner atingiu a incrível velocidade de 1342,8 km/h (373 m/s). Como nessa altitude o ar é muito rarefeito e as temperaturas são muito baixas, ele teve que usar um traje pressurizado.

A figura a seguir resume alguns pontos importantes desse feito. A figura não está em escala.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Suponha que no momento do salto o balão está parado em relação à superfície da Terra e que a velocidade inicial do paraquedista em relação ao balão seja nula. Após atingir a velocidade máxima em *B*, o paraquedista entra numa região da atmosfera onde a resistência do ar não pode mais ser desprezada. No trecho *BC*, sua velocidade diminui devido à força de atrito com o ar. Suponha que entre os pontos *B* e *C* ele percorreu 2 556,6 metros em 15,7 segundos, e a partir do ponto *C* entrou num regime de velocidade limite, ou seja, entre os pontos *C* e *D* a força de atrito passou a ser igual à força da gravidade.

De acordo com tais condições, calcule:

a) Quanto tempo ele levou para atingir a velocidade recorde de 1342,8 km/h? Considere a aceleração nesse trecho igual a 9,8 m/s². $\Delta t = 38{,}1$ s

b) A velocidade média entre os trechos *A* e *D*. $v = 141{,}8$ m/s

Veja orientações e sugestões de encaminhamento deste tópico no Manual do Professor.

6 Movimento uniforme (MU)

Nas grandes cidades, em razão do intenso trânsito de veículos, é praticamente impossível manter constante a velocidade de um carro. Já em uma rodovia, em determinados trechos retilíneos, não é raro que se consiga manter o carro em velocidade constante durante um bom tempo. Quando isso acontece, dizemos que o móvel realiza um **movimento retilíneo e uniforme**.

Podemos observar o movimento uniforme em algumas situações cotidianas. Por exemplo, as escadas rolantes (figura 3.16.a) se movimentam praticamente com velocidade constante. O mesmo pode ser dito das rodas-gigantes nos parques de diversões (figura 3.16.b). Com exceção das paradas, para que os passageiros possam entrar ou sair, o movimento de uma roda-gigante é praticamente uniforme. No caso da escada rolante, temos um movimento retilíneo e uniforme e, no da roda-gigante, o movimento é circular e uniforme. Outros exemplos de movimento uniforme são o dos ponteiros de um relógio e o das extremidades das pás de um ventilador.

A luz que recebemos do Sol percorre a maior parte da distância até a Terra a uma velocidade constante de aproximadamente 300 mil quilômetros por segundo. Já o som se propaga no ar com velocidade de cerca de 340 metros por segundo (aproximadamente 1 200 km/h), enquanto você, sentado, lendo este livro, se movimenta em torno do Sol com a incrível velocidade, praticamente constante, de 107 000 km/h.

Uma característica fundamental dos **movimentos uniformes** é que, em **intervalos de tempo iguais, o móvel percorre deslocamentos iguais**. Essa é a característica que define uma velocidade cujo valor numérico permanece constante.

Vejamos um exemplo: se conseguirmos manter a velocidade de um carro constante em 90 km/h, observaremos que, em 15 minutos (0,25 h), ele percorre 22,5 km; em 30 minutos (0,50 h), 45 km; e em uma hora, 90 km. Se for possível dar continuidade a esse movimento, em 2 horas o carro terá percorrido 180 km, e em 3 horas, 270 km.

Um modo prático de mostrar a relação entre deslocamentos e intervalos de tempo é por meio de uma tabela, como a tabela 3.1.

Podemos usar também um diagrama horário de eixos ortogonais, no qual representamos, no eixo vertical, os valores do deslocamento, e, no eixo horizontal, os valores do intervalo de tempo. A figura 3.17 ilustra esse procedimento.

As imagens desta página não estão representadas em proporção.



Vereshchagin Dmitry/Shutterstock



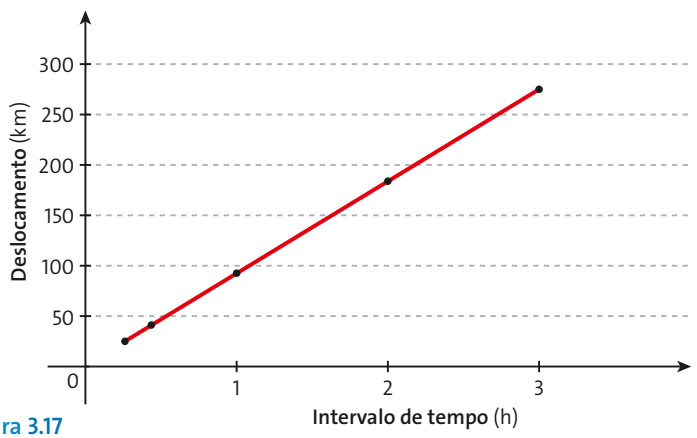
lazyllama/Shutterstock

Figura 3.16 O movimento de uma pessoa transportada em uma escada rolante (**a**), ou em uma roda-gigante (**b**), é um exemplo de movimento praticamente uniforme.

Tabela 3.1
Deslocamentos e intervalos de tempo para um movimento uniforme no qual a velocidade é igual a 90 km/h

Δt (h)	Δs (km)
0,25	22,5
0,50	45
1,0	90
2,0	180
3,0	270

Gráfico deslocamento × tempo



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 3.17

Observe, na **tabela 3.1**, ou no diagrama horário, **figura 3.17** que o deslocamento escalar (ΔS) é diretamente proporcional ao intervalo de tempo (Δt). Isso significa dizer que a razão entre eles é uma constante:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{22{,}5}{0{,}25} = \frac{45}{0{,}50} = \frac{90}{1{,}0} = \frac{180}{2{,}0} = \frac{270}{3{,}0} \Rightarrow \frac{\Delta S}{\Delta t} = 90 \text{ km/h}$$

Essa razão constante é o valor da **velocidade escalar** (v) do veículo.

Portanto, podemos escrever:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{\Delta S = v \cdot \Delta t}$$

A primeira equação acima é exatamente igual à da velocidade escalar média $\left(v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}\right)$, o que significa dizer: no movimento uniforme, é indiferente falarmos em velocidade escalar média ou velocidade escalar instantânea, pois a velocidade escalar é uma constante.

Na equação $\Delta S = v \cdot \Delta t$, substituindo ΔS por $S - S_0$ e Δt por $t - t_0$, obtemos:

$$S - S_0 = v \cdot (t - t_0)$$

Adotando o instante inicial t_0 como igual a zero, podemos escrever:

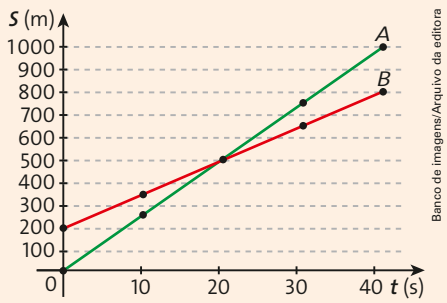
$$\boxed{S = S_0 + v \cdot t}$$

Esta última equação recebe nome de **função horária do espaço** do movimento uniforme e nos fornece o espaço de um móvel em qualquer instante $t \neq 0$, desde que sejam conhecidos o espaço inicial (espaço no instante $t = 0$) e sua velocidade (que é constante). A função $S = S_0 + v \cdot t$ aplica-se a qualquer movimento uniforme, seja ele retilíneo ou curvilíneo.

A utilização de diagramas horários como ferramenta auxiliar na resolução de situações que envolvem movimentos está ilustrada no exercício resolvido a seguir.

Exercício resolvido

2. Dois móveis, *A* e *B*, movimentam-se simultaneamente numa mesma trajetória e no mesmo sentido. O diagrama horário abaixo representa o espaço *S* de cada móvel em função do tempo *t*.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Com base no diagrama horário, determine:

a) o espaço inicial S_0 de cada móvel;
b) o instante em que os móveis se encontram na mesma posição;
c) a velocidade de cada móvel.

Resolução:

a) De acordo com o diagrama horário, temos que, no instante $t = 0$, o espaço do móvel *A* é 0 (zero) e o do móvel *B* é 200 m. Então, os espaços iniciais são:
Móvel *A*: $S_0 = 0$
Móvel *B*: $S_0 = 200$ m

b) Para que os móveis estejam na mesma posição, eles devem apresentar o mesmo espaço *S*. De acordo com o diagrama horário, isso acontece no instante $t = 20$ s.

c) Podemos obter a velocidade de cada móvel por meio da função horária do espaço. Usando os dados do diagrama horário, obtemos:
Móvel *A*: $S = S_0 + v \cdot t \Rightarrow 500 = 0 + v_A \cdot 20 \Rightarrow$
$\Rightarrow v_A = 25$ m/s
Móvel *B*: $S = S_0 + v \cdot t \Rightarrow 500 = 200 + v_B \cdot 20 \Rightarrow$
$\Rightarrow v_B = 15$ m/s

Veja comentários e respostas das questões desta seção no Manual do Professor.

O bom senso e o respeito às leis do trânsito

Ao dirigir um veículo automotor, o motorista deve pautar sua conduta pelo bom senso. E o emprego do bom senso começa pelo respeito à sinalização que há nas ruas e nas estradas. Muitas vezes, não concordamos com os limites impostos para a velocidade, mas devemos nos lembrar de que eles foram planejados por técnicos especializados, com a finalidade de evitar os acidentes de trânsito. Além dos prejuízos materiais, os acidentes frequentemente ocasionam ferimentos graves e até mortes de passageiros e pedestres.



Daniel Cymbalista/Pulsar Imagens

Limite de velocidade em uma estrada por tipo de veículo.

Por que a velocidade máxima permitida para os automóveis é de 80 km/h em algumas rodovias e em outras é de 100 km/h? Porque esses valores são determinados em função da probabilidade de ocorrerem acidentes em cada faixa de velocidade, de acordo com as condições de cada estrada ou mesmo de cada trecho de uma estrada. Aliás, vale frisar que essa sinalização representa um limite e, como tal, não significa que o motorista deva procurar conduzir o seu veículo o tempo todo "no limite", mas sim abaixo dele, como manda o bom senso.

Um ponto básico para a segurança, principalmente nas rodovias, é a distância entre carros, conhecida como **distância de seguimento**. Devemos levar em conta que, em média, o **tempo de reação** dos motoristas é da ordem de 0,7 s. Isso significa dizer que demoram, em média, 0,7 s para aplicar os freios do automóvel a partir do momento em que pensaram em fazê-lo. Durante esse tempo, o carro continua em movimento com velocidade praticamente constante. Assim, se a velocidade do carro for 90 km/h (ou 25 m/s), em 0,7 s ele percorrerá 17,5 m. Se o motorista usar o bom senso, manterá uma distância do carro da frente de, pelo menos, três vezes esse valor, para essa velocidade. Com esse cálculo rápido, fica fácil entender como a Cinemática pode ajudar um cidadão a construir o seu bom senso.

Além de promover campanhas educativas, essenciais para a redução do número de acidentes no trânsito, o Código de Trânsito Brasileiro estabelece as infrações e as correspondentes penalidades para os motoristas que excedem os limites de velocidade. Além das multas, os infratores acumulam pontos, que podem determinar até mesmo a perda da habilitação. Veja na tabela a seguir as penalidades aplicadas aos excessos de velocidade, de acordo com a Lei n. 11 334, de 2006, que modificou a redação original do Código de Trânsito Brasileiro.

Mas não é somente o excesso de velocidade que consiste em infração e acarreta multa. Segundo o Código, "transitar com o veículo em velocidade inferior à metade da velocidade máxima estabelecida para a via, retardando ou obstruindo o trânsito, a menos que as condições de tráfego e meteorológicas não o permitam, salvo se estiver na faixa da direita", constitui uma infração média (4 pontos), que sujeita o condutor a uma multa de R$ 85,13.

Utilizando-se de radares, principalmente os fotográficos, os órgãos competentes tentam conscientizar os infratores atingindo-os no bolso. Enfim, é mais fácil, econômico e civilizado obedecer às leis de trânsito.

1. O que significam as expressões "distância de seguimento" e "tempo de reação" dos motoristas?
2. Em sua opinião, as campanhas educativas de trânsito têm surtido os efeitos esperados, ou seja, a diminuição do número de acidentes de trânsito? Se acha que não, pense em outras soluções para amenizar essa situação.

Penalidades aplicadas aos excessos de velocidade

Velocidade	Gravidade	Penalidade*
superior à máxima em até 20%	média	4 pontos multa de R$ 85,13
entre 20% e 50% superior à máxima	grave	5 pontos multa de R$ 127,69
superior à máxima em mais de 50%	gravíssima	7 pontos multa de R$ 574,62

Fonte: Código de Trânsito Brasileiro. Disponível em: <www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/edicoes/paginas-individuais-dos-livros/codigo-de-transito-brasileiro>. Acesso em: fev. 2016.

*Valores atualizados em fev. 2016.

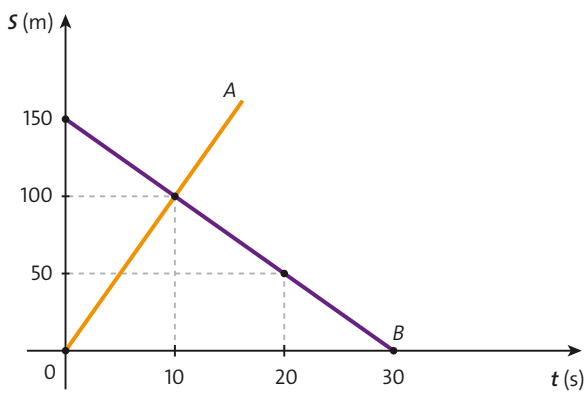
ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

16. O motorista de um carro, em uma rodovia, avista uma placa com a seguinte indicação: "Posto de abastecimento a 20 km". Se a velocidade máxima permitida nessa rodovia é 100 km/h, qual é o intervalo de tempo mínimo necessário para que o motorista chegue ao posto de abastecimento sem exceder o limite de velocidade? $\Delta t = 12$ min

17. Uma pessoa encontra-se sentada ao lado do motorista de um carro em movimento em um trecho retilíneo de uma estrada com velocidade constante de 90 km/h (25 m/s). No acostamento e ao longo da estrada foram plantadas árvores separadas entre si por distâncias iguais.
Ao passar por determinada árvore, a pessoa aciona um cronômetro e inicia a contagem das árvores. Ao alcançar a décima árvore, ela desliga o cronômetro, que indica 5,0 s. Nessas condições, determine a distância entre duas árvores consecutivas. $d = 12{,}5$ m

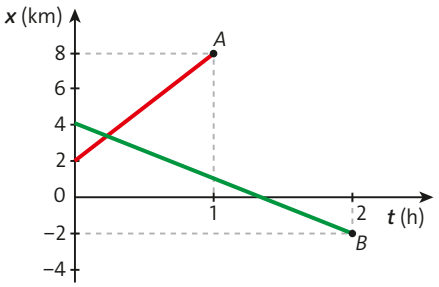
18. Muitas pessoas utilizam a internet para fazer *downloads* de músicas no computador. Normalmente, os arquivos são da ordem de *megabytes* (10^6 *bytes*) e a velocidade de *download*, da ordem de *quilobytes* por segundo (10^3 *bytes*/segundo). Qual será o tempo de *download* para um arquivo de 3,6 MB a uma velocidade de 2,0 kB/s?
$\Delta t = 30$ min

19. No gráfico abaixo, estão representados os espaços (em metros) em função do tempo (em segundos) de dois móveis, *A* e *B*, que se movimentam, simultaneamente, na mesma trajetória.



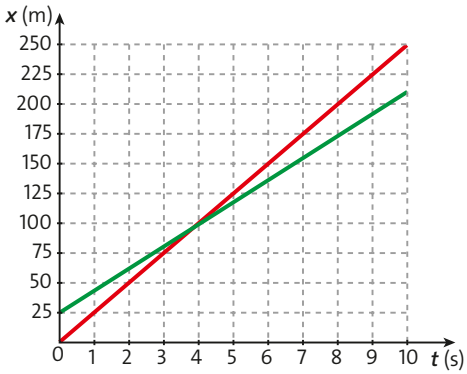
a) Os móveis se movimentam no mesmo sentido ou em sentidos contrários? Sentidos contrários.
b) Em que instante e em que ponto os móveis se encontram? Encontro: $t = 10$ s a 100 m da origem.
c) Determine a velocidade de cada móvel.
$v_A = 10$ m/s e $v_B = -5$ m/s

20. Dois atletas, *A* e *B*, estão em treinamento para participar da corrida de São Silvestre, no final do ano, em São Paulo. O gráfico abaixo mostra como varia o espaço escalar (*x*) em função do tempo (*t*) para cada um deles durante o treinamento que acontece simultaneamente.



Com base no gráfico e nos conhecimentos sobre movimentos, responda às seguintes questões e justifique:
a) Os atletas movimentam-se na pista no mesmo sentido ou em sentidos contrários? Sentidos contrários.
b) Qual dos dois atletas completaria a prova de São Silvestre no menor tempo, se eles mantivessem a velocidade do treinamento? Atleta *A*.

21. (Vunesp-SP) Duas carretas, *A* e *B*, cada uma com 25 m de comprimento, transitam em uma rodovia, no mesmo sentido e com velocidades constantes. Estando a carreta *A* atrás de *B*, porém movimentando-se com velocidade maior que a de *B*, a carreta *A* inicia uma ultrapassagem sobre a carreta *B*. O gráfico seguinte mostra o deslocamento de ambas as carretas em função do tempo.



Considere que a ultrapassagem começa em $t = 0$, quando a frente da carreta *A* está alinhada com a traseira da carreta *B*, e termina quando a traseira de *A* estiver alinhada com a frente de *B*. O instante em que *A* completa a ultrapassagem sobre *B* é:
a) 2,0 s.
b) 4,0 s.
c) 6,0 s.
X d) 8,0 s.
e) 10,0 s.

Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

Veja comentários e sugestões de encaminhamento deste tópico no Manual do Professor.

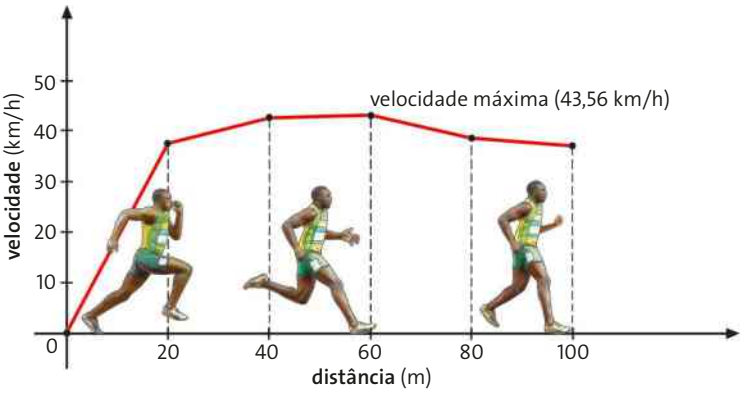
7 Movimentos acelerados

No atletismo, uma prova que desperta grande interesse é a corrida dos 100 metros rasos. O interesse se justifica, pois nessa prova está em jogo o intervalo de tempo que define o atleta mais rápido do planeta. Em agosto de 2009, em Berlim, o jamaicano Usain Bolt estabeleceu um novo recorde para essa prova, com o tempo de 9,58 s.

Observando o gráfico da **figura 3.18**, alguns pontos chamam a atenção:

1. A maior variação de velocidade ocorre nos primeiros 20 metros da corrida, quando a velocidade aumenta de 0 km/h a 36 km/h (10 m/s), aproximadamente.
2. No meio da corrida, entre 40 m e 60 m, a velocidade do atleta sofre um pequeno aumento e, no final desse intervalo, atinge o valor máximo de 43,56 km/h.
3. O gráfico contraria a suposição de que o atleta, no final da corrida, dá uma arrancada, aumentando a velocidade, em busca da vitória. A velocidade do atleta diminuiu um pouco no final da corrida.

Gráfico da velocidade de um atleta em função da distância, em uma prova de 100 m rasos



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 3.18

Com base no gráfico, podemos concluir que a prova dos 100 metros rasos é caracterizada pelo fato de que a velocidade varia ao longo de todo o percurso. Essa variação define o tipo de movimento realizado pelo atleta: trata-se de um **movimento acelerado**.

Já vimos que a aceleração é a grandeza que nos informa a rapidez com que acontecem as variações de velocidade e que ela estabelece a diferença fundamental entre os movimentos acelerado e uniforme.

Vimos, também, que podemos usar um sinal + ou um sinal − na velocidade para indicar o sentido do movimento, conforme seja a favor ou contra a orientação da trajetória. O mesmo pode ser feito com a aceleração: usamos os sinais + e − para indicar se a variação de velocidade é positiva ou negativa. Observe que a velocidade indica o sentido do movimento, enquanto a aceleração indica a variação de velocidade.

Assim, um móvel pode apresentar velocidade positiva e variação de velocidade negativa. É o que ocorre quando um móvel se movimenta no sentido da orientação da trajetória com o valor numérico de sua velocidade diminuindo. Também podemos ter uma velocidade negativa com uma aceleração positiva. Nesse caso, o móvel se movimenta no sentido contrário ao da orientação da trajetória com o valor numérico de sua velocidade diminuindo.

Generalizando, nos movimentos acelerados, podemos ter velocidade positiva ou negativa e aceleração positiva ou negativa, o que nos dá quatro possibilidades de associação:

- As duas primeiras, velocidade e aceleração de mesmo sinal (ambas positivas ou ambas negativas), resultam em aumento no valor numérico da velocidade.
- As duas últimas, velocidade e aceleração de sinais contrários ($v > 0$ e $a < 0$, ou $v < 0$ e $a > 0$), resultam na diminuição do valor numérico da velocidade.

É costume a utilização de termos diferentes para as várias possibilidades da variação de velocidade. Assim, temos:

- **movimento acelerado** – o valor absoluto da velocidade aumenta;
- **movimento retardado** – o valor absoluto da velocidade diminui;
- **movimento variado** – o valor absoluto da velocidade varia, podendo aumentar ou diminuir.

Entre os movimentos variados, existe um tipo especial no qual a velocidade varia de quantidades iguais em intervalos de tempo iguais. Esse movimento recebe a denominação de **movimento uniformemente variado (MUV)**. Nele, como as variações de velocidades por unidade de tempo são constantes, a aceleração é constante.

Tabela 3.2
Velocidade de um móvel, em metros por segundo, em função do tempo, em segundos

t (s)	v (m/s)
0	2,0
1,0	5,0
2,0	8,0
3,0	11
4,0	14
5,0	17
6,0	20

Movimento uniformemente variado (MUV)

Observe a tabela 3.2, que apresenta a velocidade de um móvel em função do tempo.

Nessa tabela observamos que, no intervalo de tempo de 0 s a 6,0 s, as variações de velocidade são iguais. A cada intervalo de tempo de 1,0 s, a velocidade aumenta 3,0 m/s, ou seja, a velocidade aumenta 3,0 m/s a cada segundo, o que significa dizer: a aceleração é constante e igual a 3,0 m/s^2.

Dizemos que, nesse intervalo de tempo, o movimento é uniformemente acelerado: **acelerado** porque o módulo da velocidade aumenta e **uniformemente** porque a aceleração é constante.

Na figura 3.19, temos a representação gráfica dos dados da tabela 3.2.

Gráfico velocidade × tempo

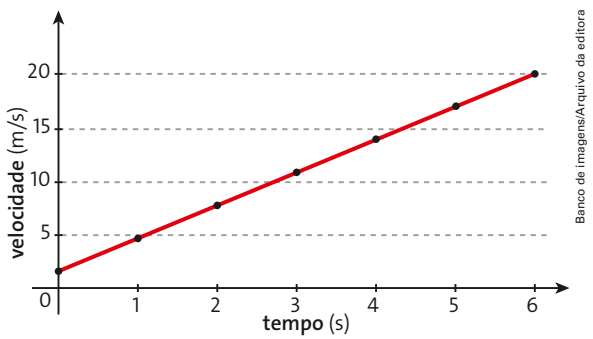


Figura 3.19

Observe, na tabela ou no diagrama horário da figura, que a variação de velocidade (Δv) é diretamente proporcional ao intervalo de tempo (Δt). Isso significa dizer que a razão entre eles é uma constante:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{5{,}0 - 2{,}0}{1{,}0} = \frac{20{,}0 - 2{,}0}{6{,}0} = 3{,}0 \Rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta t} = 3{,}0 \text{ m/s}^2$$

Essa razão constante é o valor da **aceleração (*a*)** do movimento. Portanto, podemos escrever:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \Delta v = a \cdot \Delta t$$

A primeira equação é exatamente igual à da aceleração escalar média, o que significa dizer: no movimento uniformemente variado, é indiferente falar em aceleração escalar média ou aceleração escalar instantânea, pois a aceleração escalar é uma constante.

Na equação $\Delta v = a \cdot \Delta t$, substituindo Δv por $v - v_0$ e Δt por $t - t_0$, obtemos $v - v_0 = a \cdot (t - t_0)$.

Adotando o instante inicial t_0 como igual a zero, podemos escrever:

$$v = v_0 + a \cdot t$$

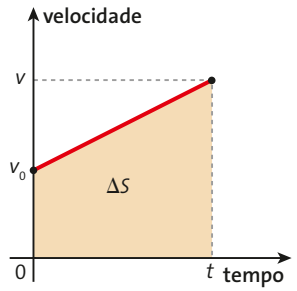
Essa equação recebe o nome de **função horária da velocidade do movimento uniformemente variado** e nos fornece a velocidade do móvel em qualquer instante $t \neq 0$, desde que sejam conhecidas a velocidade inicial do móvel (velocidade no instante $t = 0$) e sua aceleração constante.

Podemos, também, determinar a **função horária do espaço** para o movimento uniformemente variado. Para isso, vamos utilizar uma propriedade importante dos gráficos de velocidade em função do tempo.

No gráfico $v \times t$, a área compreendida entre a linha do gráfico e o eixo das abscissas, em determinado intervalo de tempo, corresponde ao módulo do deslocamento nesse intervalo de tempo.

Vamos aplicar essa propriedade no gráfico da **figura 3.20**, que mostra a variação da velocidade em função do tempo, para um movimento uniformemente acelerado.

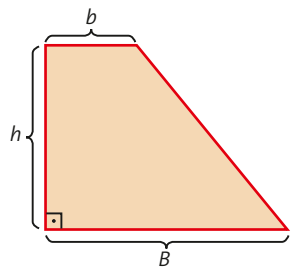
Gráfico da velocidade em função do tempo, com base no qual se pode calcular o deslocamento do móvel



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 3.20

Observe que a figura compreendida entre a linha do gráfico e o eixo dos tempos (abscissas), no intervalo de tempo entre os instantes 0 e t, é um trapézio. Lembrando que a área do trapézio é dada pela média aritmética das bases multiplicada pela altura, conforme mostra a **figura 3.21**, temos:



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 3.21 Cálculo da área de um trapézio.

$$A = \frac{B + b}{2} \cdot h$$

Aplicando essa expressão ao gráfico da velocidade em função do tempo dado acima, escrevemos $\Delta S = \frac{v + v_0}{2} \cdot t$.

Como $v = v_0 + a \cdot t$, temos:

$$\Delta S = \frac{v_0 + a \cdot t + v_0}{2} \cdot t \Rightarrow \Delta S = \frac{2v_0 \cdot t + a \cdot t^2}{2}$$

Simplificando, obtemos: $\Delta S = v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2$

Essa equação nos permite calcular o deslocamento escalar de um móvel desde o instante inicial $t_0 = 0$ até o instante $t > 0$, conhecendo-se a velocidade inicial e a aceleração do movimento.

Para determinar a função horária do espaço, basta substituirmos, nesta última equação, $\Delta S =$ por $S - S_0$:

Isolando S, obtemos:

$$S = S_0 + v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2$$

Essa expressão é conhecida como **a função horária do espaço** do movimento uniformemente variado. Com ela, podemos calcular o espaço (S) de um móvel em qualquer instante, desde que sejam conhecidos o espaço inicial (S_0), a velocidade inicial (v_0) e a aceleração do movimento. Veja o exercício resolvido 3.

Veja resposta no Manual do Professor.

Para refletir

Se a função horária do MUV é uma função do 2º grau, qual é o tipo de gráfico ($S \times t$) correspondente: reta ou curva? Justifique.

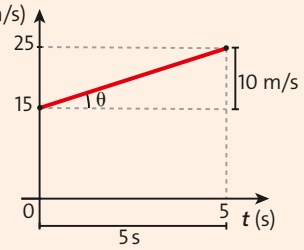
Exercício resolvido

Veja a observação e demonstração da Equação de Torricelli no Manual do Professor.

3. Um carro movimenta-se em uma rodovia a 54 km/h (15 m/s). Em determinado instante, o motorista acelera uniformemente e, após 5,0 s, o carro atinge a velocidade de 90 km/h (25 m/s).

a) Trace o gráfico da velocidade em função do tempo para esse movimento, no intervalo de 0 s a 5,0 s.
b) Com base no gráfico, determine o valor da aceleração escalar do movimento e o deslocamento escalar nos 5,0 s.

Resolução:

a) 

b) Com os dados do gráfico, obtemos a aceleração escalar:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{25 - 15}{5} \Rightarrow a = 2 \text{ m/s}^2$$

E o deslocamento escalar pela área do trapézio:

$$\Delta S = \frac{B + b}{2} \cdot h = \frac{25 + 15}{2} \cdot 5 \Rightarrow \Delta S = 100 \text{ m}$$

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

Exercícios

22. Uma partícula movimenta-se em uma trajetória retilínea e sua velocidade varia com o tempo conforme a tabela a seguir.

t (s)	0	2	4	6	8	10	12	14	16
v (m/s)	0	4	8	12	12	12	10	5	2

a) Em quais intervalos de tempo o movimento é acelerado? E retardado? Explique se o movimento é acelerado (ou retardado) uniformemente.
b) Determine a aceleração escalar do movimento no intervalo de 0 s a 6 s. $a = 2 \text{ m/s}^2$

22. a) Entre 0 e 6 s: uniformemente acelerado; entre 10 s e 16 s: retardado de modo não uniforme.

23. Um carro parte do repouso e acelera uniformemente durante 10 s, atingindo a velocidade de 20 m/s. Em seguida, ele é freado uniformemente, atingindo o repouso 15 s após o início do movimento.

a) Faça o gráfico da velocidade em função do tempo.
b) Calcule a distância total percorrida pelo carro. $d = 150$ m

a) Veja resposta comentada no Manual do Professor.

24. Um carro parte do repouso com aceleração escalar constante de 2 m/s². Após 10 s da partida, desliga-se o motor e, em razão do atrito, o carro passa a ter movimento retardado de aceleração constante de módulo 0,5 m/s².

a) Se fosse possível eliminar todas as formas de atrito, o que aconteceria com a velocidade do carro a partir do instante em que se desliga o motor?
b) Nas condições dadas, qual é o deslocamento total do carro, desde a sua partida até atingir novamente o repouso? $\Delta S = 500$ m

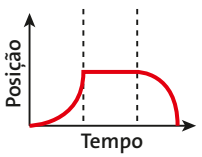
A velocidade se manteria constante.

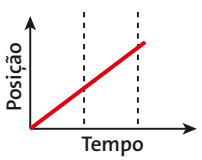
25. Uma motocicleta encontra-se parada em um semáforo (sinaleira) que apresenta a luz vermelha acesa. Quando a luz se torna verde, o motociclista acelera a moto e sua velocidade aumenta 3,0 m/s em cada segundo, durante 10 s. No instante ($t = 0$ s) em que a luz do semáforo torna-se verde, um carro com velocidade constante de 54 km/h (15 m/s) passa pela moto.

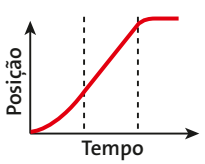
a) Em um mesmo diagrama, trace os gráficos da velocidade em função do tempo para os dois móveis (moto e carro), no intervalo de tempo de 0 a 10 s;
b) Com base no gráfico, determine a distância entre a moto e o carro no instante $t = 10$ s.

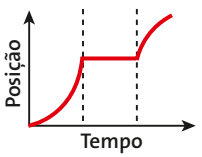
25. a) Veja resposta no Manual do Professor.
b) A distância entre eles é zero.

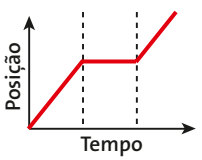
26. (Enem) Para melhorar a mobilidade urbana na rede metroviária é necessário minimizar o tempo entre estações. Para isso, a administração do metrô de uma grande cidade adotou o seguinte procedimento entre duas estações: a locomotiva parte do repouso com aceleração constante por um terço do tempo do percurso, mantém a velocidade constante por outro terço e reduz sua velocidade com desaceleração constante no trecho final até parar.
Qual é o gráfico da posição (eixo vertical) em função do tempo (eixo horizontal) que representa o movimento desse trem?

a) 

b) 

X c) 

d) 

e) 

Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

8 Queda livre

Veja comentários sobre este tópico no Manual do Professor.

Em princípio, a ideia de uma pena caindo lado a lado com uma esfera de chumbo nos parece estranha e contrária ao senso comum. Aristóteles considerava que os corpos mais pesados caíam mais rápido do que os mais leves, mas sua concepção estava equivocada, como mostrou Galileu Galilei.

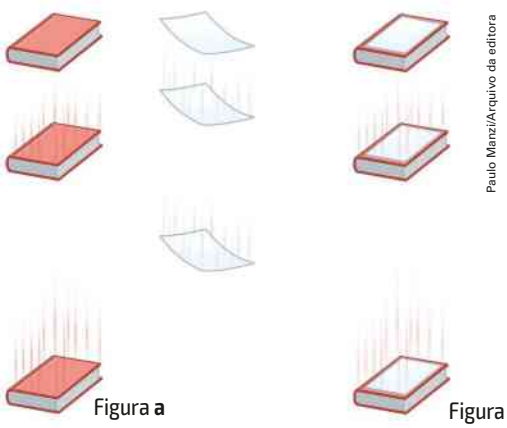
A discussão sobre a queda dos corpos, levando em conta a resistência do ar, será feita no Capítulo 5, após o conhecimento das leis de Newton para os movimentos.

Um fato importante é que, em queda livre, todos os corpos aceleram do mesmo modo, independentemente de suas massas. Geralmente, esse fato é expresso da seguinte maneira: "No vácuo (ausência de ar), todos os corpos soltos simultaneamente de uma mesma altura chegam ao solo ao mesmo tempo e com a mesma velocidade". Esse fato se verifica sempre, qualquer que seja a massa de cada corpo, o formato ou o material que constitui cada um deles.

Trabalho em equipe

Em equipe e sob orientação do professor, vocês podem constatar que sem a resistência do ar todos os corpos, quando soltos de uma mesma altura, chegam ao solo no mesmo tempo realizando um experimento muito simples. De uma mesma altura, soltem, simultaneamente, uma folha de papel e um caderno, lado a lado. Vocês vão observar que o caderno atinge o solo antes da folha de papel (figura **a**).

Experimentem, agora, soltar o caderno com a folha colocada sobre ele (figura **b**). Nesse caso, eles caem juntos.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

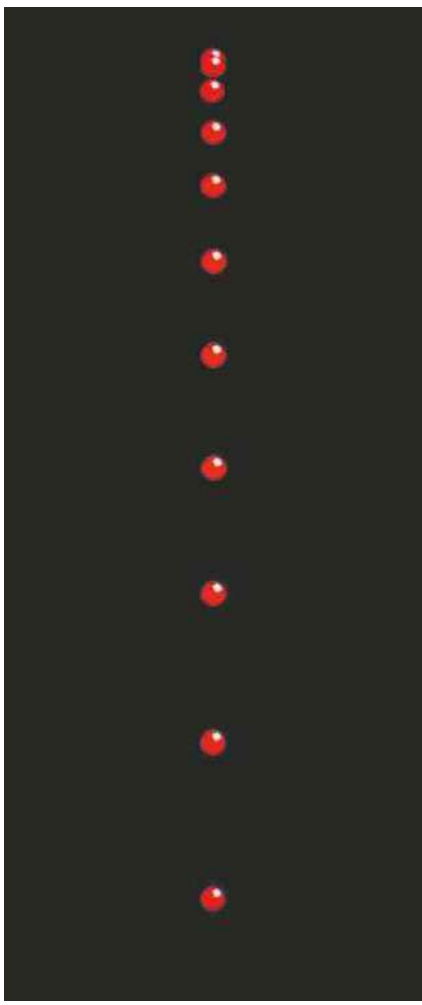
Figura **a** Figura **b**

Representação (sem escala e em cores fantasia) do experimento.

Como vocês explicam esses resultados?

Agora, analisaremos as relações entre deslocamento, velocidade, aceleração e tempo considerando a queda dos corpos no vácuo, a que denominamos **queda livre**.

Na figura 3.22, temos uma imagem que mostra a sequência de fotos feitas em intervalos de tempo iguais, de uma bola caindo praticamente em queda livre.



Kenneth Eward/Photo Researchers, Inc./Latinstock

Figura 3.22 Registro fotográfico da queda de uma bola mostrando o aumento de velocidade decorrente da queda.

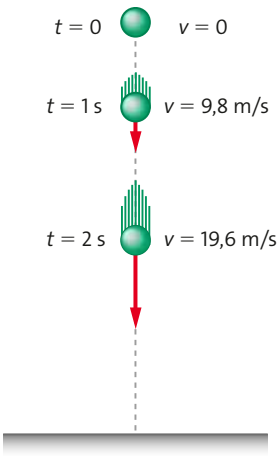


Figura 3.23 Representação (sem escala) da queda livre de um corpo a partir do repouso. A velocidade é proporcional ao tempo de queda, aumentando 9,8 m/s a cada segundo.

Diagrama da velocidade de um corpo em queda livre a partir do repouso

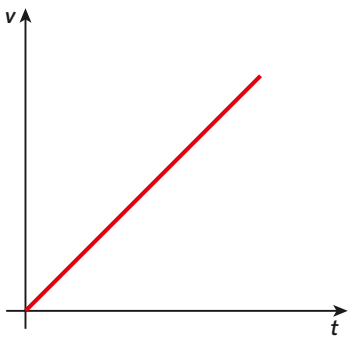
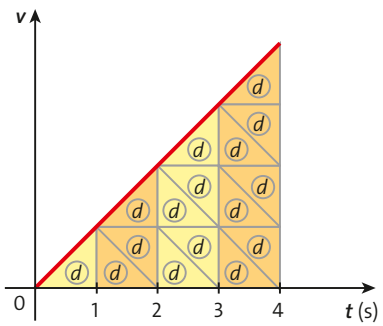


Figura 3.24 À medida que o tempo de queda livre aumenta, a velocidade também aumenta, proporcionalmente, o mesmo número de vezes.

Diagrama da velocidade de um corpo em queda livre a partir do repouso



Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 3.25 Os deslocamentos em intervalos de tempo iguais e consecutivos são proporcionais aos números ímpares consecutivos 1, 3, 5, 7, ...

Observe que o deslocamento da bola aumenta em cada intervalo de tempo. Isso nos permite concluir que a velocidade de queda da bola aumenta, o que implica um movimento acelerado. Experiências comprovam tal afirmação. A velocidade de um corpo em queda livre aumenta 9,8 m/s a cada segundo de queda (figura 3.23). Portanto, um corpo em queda livre realiza um movimento uniformemente acelerado.

Essa variação de velocidade por unidade de tempo é a aceleração que conhecemos como **aceleração da gravidade (*g*)**. Em nosso planeta, a sua intensidade é de aproximadamente 9,8 m/s², valor que normalmente é arredondado para 10 m/s². Em outros astros celestes, a aceleração de queda tem intensidade diferente. Na superfície de Júpiter, a aceleração da gravidade vale 25 m/s² e, na superfície da Lua, 1,6 m/s².

Na figura 3.24, temos a representação gráfica do comportamento da velocidade escalar no decorrer do tempo para um corpo em queda livre, a partir do repouso, abandonado no instante $t = 0$.

Para demonstrar o que acontece com o deslocamento em intervalos de tempo iguais e consecutivos, vamos proceder como o indicado na figura 3.25. Nessa figura, escolhemos um intervalo padrão de tempo igual a 1 s, mas a análise continua válida para qualquer outro intervalo que seja escolhido.

Nesse gráfico, representamos por *d* o deslocamento sofrido pelo corpo em queda livre no primeiro segundo de queda. No gráfico da velocidade em função do tempo, a área entre a linha do gráfico e o eixo das abscissas (tempo), em dado intervalo de tempo, nos fornece o valor numérico do módulo do deslocamento escalar nesse intervalo. Assim, a área de cada triângulo mostrado na figura 3.25 é numericamente igual ao deslocamento *d*.

Comparando os deslocamentos em intervalos de tempo iguais, verificamos que:

- no primeiro intervalo de tempo, o deslocamento é *d*;
- no segundo intervalo de tempo, 3*d*;
- no terceiro intervalo de tempo, 5*d*; e assim sucessivamente.

Esses resultados, obtidos por Galileu em seus experimentos sobre a queda dos corpos, ficaram conhecidos como proporções de Galileu: "Se o móvel percorre uma unidade de comprimento durante a primeira unidade de tempo, ele percorrerá três unidades de comprimento durante a segunda unidade de tempo, cinco unidades de comprimento durante a terceira unidade de tempo, etc.". Assim, em intervalos de tempo iguais, os deslocamentos de um corpo em queda livre são proporcionais aos números ímpares consecutivos (1, 3, 5, 7, ...).

Física tem História

Veja orientações sobre esta seção no Manual do Professor.

A História nos indica que os primeiros experimentos para determinar o que hoje denominamos aceleração da gravidade tiveram início no final do século XVI, com Galileu. Naquela época, como não dispunha de instrumentos precisos para medir o tempo de queda de um corpo, Galileu contornou o problema fazendo com que esferas rolassem sobre planos inclinados. Com isso, ele minimizava os efeitos da gravidade na queda do corpo, tornando os movimentos mais lentos.

> [...] Para medir o tempo, [Galileu] "utilizava um grande balde cheio de água". A água escoava por um orifício feito no fundo e era em seguida pesada "com a ajuda de uma balança muito sensível". Comparando as quantidades de água recolhidas, era possível determinar "as diferenças e proporções entre os tempos".

Conforme relata o historiador francês Pierre Thuillier no livro *De Arquimedes a Einstein: a face oculta da invenção científica* (Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994), Galileu, com seus experimentos, chegou às relações matemáticas corretas para a queda dos corpos.

No começo do século XVII, o padre franciscano francês Marin Mersenne (1588-1648), utilizando-se das oscilações de um pêndulo, obteve valores em torno de 8 m/s² para a aceleração da gravidade. Em 1659, o físico holandês Christiaan Huygens (1629-1695) obteve a equação do tempo de oscilação simples de um pêndulo e, com ela, calculou o valor 9,806 m/s² para a aceleração da gravidade.

- Utilizando uma rampa (plano inclinado), como você demonstraria, qualitativamente, que o movimento de uma esfera se torna mais lento ou mais rápido?

Exercício resolvido

4. Uma bola é abandonada do repouso de uma altura de 80 m acima do solo. Despreze a resistência do ar e considere $g = 10\ m/s^2$. Determine:

a) o tempo que a bola demora para chegar ao solo;

b) a velocidade da bola ao atingir o solo;

c) quantos metros a bola percorre em cada segundo de queda.

Resolução:

Como a queda livre é um movimento uniformemente acelerado, podemos aplicar as mesmas equações vistas no MUV:

$$\Delta S = v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2 \quad \text{e} \quad v = v_0 + a \cdot t$$

a) Lembrando que a velocidade inicial é nula ($v_0 = 0$), pois a bola parte do repouso, e que $a = g = 10\ m/s^2$, obtemos o tempo de queda com a equação:

$$\Delta S = v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2 \Rightarrow 80 = 0 + \frac{10}{2} \cdot t^2 \Rightarrow t^2 = 16 \Rightarrow t = 4{,}0\ s$$

Portanto, a bola demora 4,0 s para chegar ao solo.

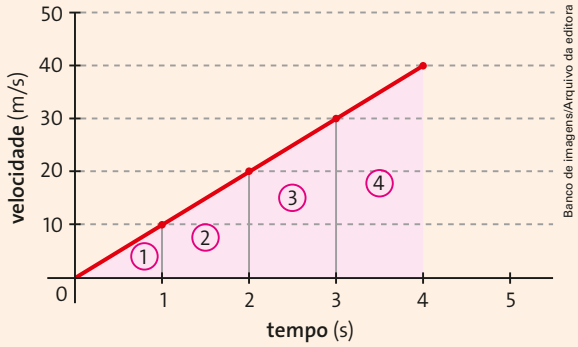
b) A velocidade da bola ao atingir o solo é obtida com a equação:

$$v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow v = 0 + 10 \cdot 4{,}0 \Rightarrow v = 40\ m/s$$

A bola atinge o solo com velocidade de 40 m/s (ou 144 km/h).

c) Sabendo que a velocidade aumenta 10 m/s a cada segundo de queda, construímos o gráfico da velocidade em função do tempo, de acordo com a tabela:

t (s)	v (m/s)
0	0
1	10
2	20
3	30
4	40



No gráfico, as áreas 1, 2, 3 e 4 representam, respectivamente, os deslocamentos em cada segundo. Assim, temos:

1º segundo – Área 1

$$\text{área do triângulo} = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{1 \cdot 10}{2} = 5 \Rightarrow \Delta S = 5{,}0 \text{ m}$$

2º segundo – Área 2

$$\text{área do trapézio} = \frac{b + B}{2} \cdot h = \frac{20 + 10}{2} \cdot 1{,}0 = 15 \Rightarrow \Delta S = 15 \text{ m}$$

3º segundo – Área 3

$$\text{área do trapézio} = \frac{30 + 20}{2} \cdot 1{,}0 = 25 \Rightarrow \Delta S = 25 \text{ m}$$

4º segundo – Área 4

$$\text{área do trapézio} = \frac{40 + 30}{2} \cdot 1{,}0 = 35 \Rightarrow \Delta S = 35 \text{ m}$$

No 1º segundo, a bola percorre 5 m; no 2º segundo, 15 m; no 3º segundo, 25 m; e no 4º segundo, 35 m. Somando esses quatro deslocamentos, obtemos 80 m, que é a altura da queda.

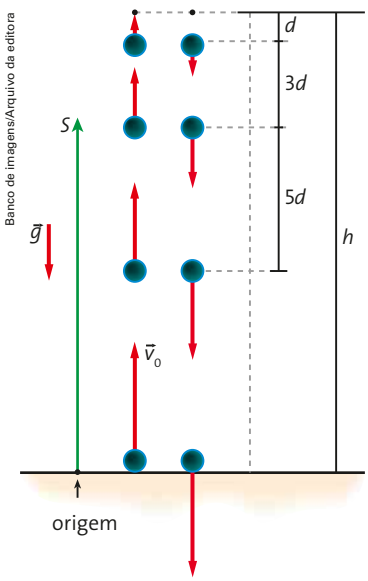


Figura 3.26 Representação esquemática do movimento de uma pedra lançada verticalmente para cima.

Lançamento vertical

Vejamos, agora, o **lançamento vertical**. O que acontece com uma pedra, por exemplo, lançada verticalmente para cima? De acordo com a visão aristotélica, que prevaleceu por quase 2 mil anos, como a pedra é um "corpo pesado", o seu lugar natural é no solo. Então, inicialmente, temos um movimento "forçado", contra a natureza, provocado pelo ser humano, que faz a pedra subir; mas, em seguida, a pedra retorna naturalmente, pois o seu lugar natural é o solo.

Observe a figura 3.26. Desprezando a resistência do ar, hoje descrevemos o movimento da pedra da seguinte maneira: no ato do lançamento, a pedra adquire uma velocidade, denominada velocidade inicial, no sentido vertical para cima. Mas, à medida que sobe, ela perde velocidade à razão de aproximadamente 9,8 m/s a cada segundo de subida (aceleração da gravidade). No instante em que a velocidade de subida se anula, a pedra atinge o ponto de altura máxima e, em seguida, inicia a queda livre.

Na subida, a pedra realiza um movimento uniformemente retardado, pois velocidade e aceleração são de sinais contrários; e, na descida, realiza um movimento uniformemente acelerado, conforme visto na queda livre.

Exercício resolvido

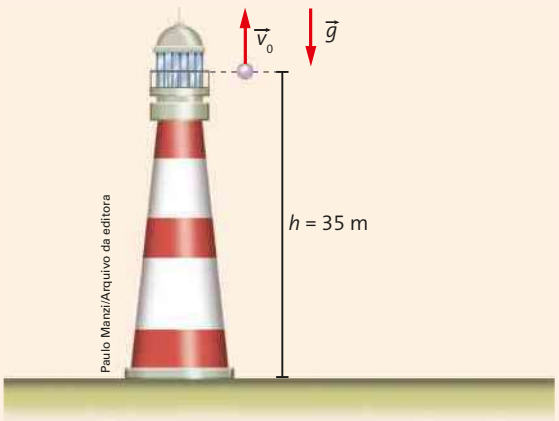
5. Do alto de uma torre, a uma altura de 35 m em relação ao solo, um corpo é lançado verticalmente para cima, com velocidade inicial de 30 m/s. Despreze a resistência do ar e considere $g = 10\ m/s^2$. Determine:

a) o tempo desde o instante de lançamento ($t = 0$) até o corpo atingir o ponto de altura máxima;

b) a altura máxima atingida pelo corpo, em relação ao solo.

Resolução:

A figura ilustra o lançamento do corpo a partir do alto da torre, indicando o sentido da velocidade e o da aceleração da gravidade.



a) Para um referencial no solo, as condições iniciais do movimento são:

$S_0 = 35$ m

$v_0 = 30$ m/s

$a = -g = -10\ m/s^2$

Quando o corpo atinge o ponto de altura máxima, temos $v = 0$. Assim, na função horária da velocidade do MUV, obtemos o tempo de subida:

$v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow 0 = 30 + (-10) \cdot t \Rightarrow t = 3{,}0$ s

O corpo demora 3,0 s desde o lançamento até o ponto de altura máxima.

b) A altura máxima atingida pelo corpo, em relação ao solo, é obtida com a expressão:

$$S = S_0 + v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2$$

$$S = 35 + 30 \cdot 3{,}0 + \frac{(-10)}{2} \cdot (3{,}0)^2$$

$$S = 35 + 90 - 45$$

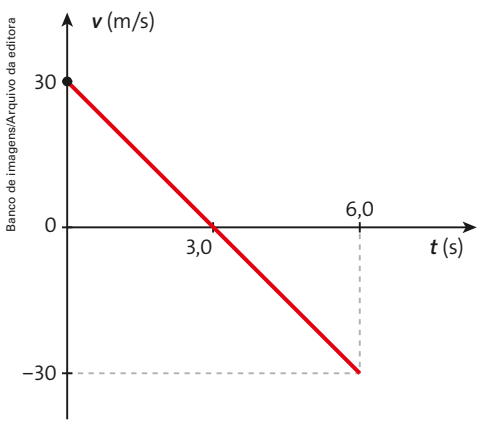
$$S = 80 \text{ m}$$

A altura máxima atingida pelo corpo, em relação ao solo, é 80 m.

Exercícios

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

27. Uma pedra é lançada verticalmente para cima, atinge o ponto de altura máxima e retorna ao ponto de lançamento. O gráfico da velocidade da pedra em função do tempo é mostrado na figura abaixo. Despreze a resistência do ar.



Com base nessas informações, responda às questões:

a) Qual é o valor da aceleração da gravidade no local em que a pedra foi lançada? $|g| = 10\ m/s^2$

b) Em quanto tempo a pedra atinge a altura máxima? $t = 3{,}0$ s

c) Quanto tempo demora para a pedra retornar ao ponto de lançamento? $t = 6{,}0$ s

d) Qual é a altura máxima atingida pela pedra? $h = 45$ m

28. Duas pequenas esferas são soltas, simultaneamente e a partir do repouso, de pontos diferentes de um prédio. Uma delas, esfera *A*, é solta do 10º andar e a outra, esfera *B*, é solta do 5º andar. Ambas se movimentam na mesma vertical. Desprezando a resistência do ar, explique o que acontece com a distância entre as esferas durante a queda – aumenta, diminui ou permanece constante? Permanece constante.

Em construção

Veja comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

Galileu Galilei e o plano inclinado

> [...] Johannes Kepler (1571-1630) acabara de criar o procedimento que toda a ciência moderna passaria a adotar depois: descobrir as ocultas leis matemáticas que regem o Universo a partir da aparente desordem dos dados observacionais. Estabelecia-se assim o elo perdido entre o mundo das ideias e dos sentidos, que há milênios atrás os gregos percebiam como separados. O pequeno gnomo da floresta negra (Kepler), sempre acometido por estranhas doenças e acossado por tragédias pessoais, acabava de fundar a ciência moderna. Galileu Galilei, seu contemporâneo, sistematizaria esse procedimento criando o método científico aplicando-o não só a planetas, mas para qualquer objeto, esteja ele situado na imensidão do cosmos ou a nossa frente.
>
> [...] Sob o ponto de vista da História da Mecânica, Galileu planta as sementes das quais brotam o princípio da inércia. O argumento mais forte de Aristóteles contra o movimento da Terra é de que uma pedra lançada verticalmente retorna às nossas mãos ou, o que é equivalente, um objeto abandonado do topo de uma torre cai na sua base e não a oeste desta, como seria de supor caso a Terra girasse para leste. Contra este milenar argumento, Galileu afirma que uma pedra abandonada do alto do mastro de um navio cairá sempre sobre seu pé, esteja o navio parado ou em movimento. E arremata: "quer o navio esteja parado quer em movimento uniforme, os peixes nadam no aquário, as moscas voam, a água goteja, atira-se um objeto exatamente do mesmo modo".

ROCHA, José Fernando M. (Org.). *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: Ed. da UFBA, 2002. p. 82 e 86.



Justus Sustermans/Album/akg-images/Orsi Battaglini/Latinstock

Retrato de Galileu Galilei (1564-1642).

Galileu nasceu em Pisa, Itália, no dia 15 de fevereiro de 1564, filho de Vincenzio Galilei e Giulia Ammanati. Em 1581, iniciou o curso de Medicina na Universidade de Pisa; em 1585, abandonou o curso e partiu para Florença, para estudar Geometria. Em 1589 retornou a Pisa, iniciando um período de aulas e estudos sobre os movimentos, e em 1592 mudou-se para Pádua, onde lecionou e concluiu seus trabalhos sobre planos inclinados e queda dos corpos. Em um laboratório montado em sua casa, Galileu construía seus instrumentos, tanto para uso próprio como para o mercado, que exigia bons aparelhos. Assim conseguia incrementar a sua renda, pois o salário como professor era baixo.

Na época de Galileu, a Física dos movimentos nas universidades estava alicerçada nos ensinamentos de Aristóteles — movimentos naturais e movimentos forçados —, dos quais Galileu se afastou e, durante quinze anos, dedicou-se com afinco à explicação das relações entre distância, velocidade e tempo — as bases dos movimentos. Mesmo para Galileu, conceitos como "velocidade" e principalmente "aceleração" eram de difícil interpretação. Suas experiências com pêndulos, planos inclinados e corpos em queda possibilitaram a explicação, em 1604, da função horária do movimento acelerado. Galileu chamava os corpos cadentes de *graves* — origem provável do termo gravidade.

Em 1609, Galileu, após tomar conhecimento do telescópio, voltou suas atenções para um novo mundo: a observação dos astros. Publicou, em 1610, o livro *A mensagem das estrelas*, obra que causou um grande impacto na Astronomia da época e que o tiraria de Pádua para ocupar o cargo de matemático e filósofo do grão-duque de Florença. A observação de luas em Júpiter, a descrição do sistema de Saturno e a explicação das manchas solares e das marés reforçaram sua fé no sistema heliocêntrico de Copérnico.

Em 1632, publicou sua obra máxima, *Diálogos sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*. Nesse livro, provavelmente por já ter sido admoestado pela Igreja em 1616 e proibido de pregar a doutrina copernicana, e levando em conta que suas descobertas corriam sérios riscos de serem tachadas de bruxarias, Galileu tentou uma saída: suas ideias, apresentadas na forma de diálogo, eram defendidas não por ele, mas por um dos personagens do livro.

Apesar desse cuidado, ele foi levado a julgamento perante a Inquisição, em 1633, pelo conjunto de sua obra. Acusado de subversão à doutrina aristotélica, às sagradas escrituras e à Igreja, foi condenado à prisão e obrigado a uma leitura pública do ato de abjuração (renúncia solene da fé que professava).

Nos últimos anos de vida, Galileu cumpriu prisão domiciliar e faleceu em Florença, na Itália, em 8 de janeiro de 1642.

Trabalho em equipe

Dificilmente encontramos uma pessoa que não tenha ouvido falar em Galileu, mesmo desconhecendo sua obra. Suas famosas experiências na torre de Pisa, na Itália, têm sido objeto de livros e pesquisas, e alguns historiadores colocam em dúvida a realização de tais experimentos.

Façam uma pesquisa em grupo sobre a vida e a obra desse cientista, com destaque aos pontos controversos de sua vida: a realização dos experimentos e sua participação no processo de Inquisição. Os trabalhos de cada grupo devem ser apresentados em um debate com a presença dos professores de Física e de História.

Existem inúmeras referências para consulta. Além das citadas no texto, sugerimos:

- GALILEU: o destronamento da Terra. *Scientific American Brasil*. Edição especial n. 33.
- GALILEU: o Universo em movimento. *Scientific American Brasil*. (Gênios da Ciência).
- PIRES, Antonio S. T. *Evolução das ideias da Física*. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

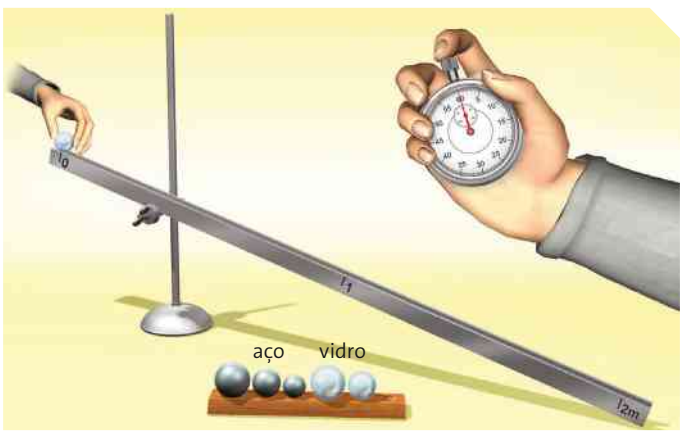
Experimento

Movimento em um plano inclinado

Veja comentários e sugestões sobre este experimento e respostas das atividades no Manual do Professor.

As rampas (planos inclinados), com pequena inclinação, são úteis para o estudo do movimento de uma bolinha de vidro ou de aço. Com esse objetivo, propomos uma atividade na qual cada grupo de quatro alunos pesquisará algumas questões propostas.

O material necessário para que cada grupo realize seus experimentos é: um cronômetro; um trilho de alumínio ou latão com, no mínimo, 2 m de comprimento; bolinhas de aço e de vidro de vários tamanhos; e uma trena ou fita métrica.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Representação da montagem do experimento. Sem escala, em cores fantasia.

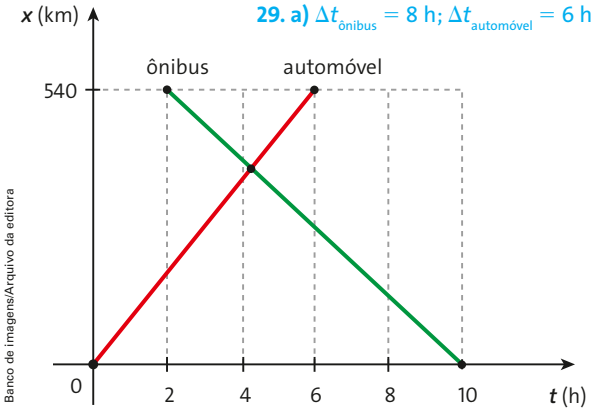
Discuta com os componentes do grupo os procedimentos para a realização do experimento com o objetivo de responder às seguintes questões:

1. O intervalo de tempo para que as bolinhas percorram toda a extensão do trilho depende da massa da bolinha?
2. O intervalo de tempo para que as bolinhas percorram toda a extensão do trilho depende do material de que é feita a bolinha?
3. O que acontece com o intervalo de tempo quando duplicamos a distância percorrida?
4. Qual o tipo de movimento realizado pelas bolinhas: uniforme ou acelerado?

Retomando

Veja, no Manual do Professor, atividades complementares e resolução dos exercícios deste capítulo.

29. Um automóvel parte de uma cidade *A* em direção a uma cidade *B* e um ônibus parte da cidade *B* em direção à cidade *A*. O gráfico abaixo representa as posições do automóvel e do ônibus, em função do tempo.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Sabendo-se que as cidades *A* e *B* localizam-se às margens de uma mesma rodovia e considerando a origem na cidade *A*, determine:

a) quanto tempo demora a viagem, entre as cidades *A* e *B*, de ônibus e de automóvel.

b) no cruzamento do automóvel com o ônibus, a distância percorrida por cada um deles.

$d_{automóvel} = 386$ km; $d_{ônibus} = 154$ km

30. A polícia técnica utiliza conhecimentos de Física para elucidar situações que envolvem, por exemplo, acidentes de trânsito. Suponha que, em uma dada situação, um motorista atropela um pedestre causando-lhe alguns ferimentos, sem risco de morte. O pedestre alega que o motorista estava acima da velocidade permitida para aquela via, que é de 60 km/h. Em contrapartida, o motorista alega que estava com velocidade abaixo do limite e, ao avistar o pedestre, freou o carro até parar.

Dados coletados pela polícia, ao analisar as marcas deixadas pelos pneus (em bom estado de conservação) no asfalto, indicam que o carro percorreu 12 m até parar. De acordo com a montadora que produz esse modelo de carro, a aceleração máxima de frenagem é 6,0 m/s², para pneus novos.

Nessas condições, a polícia concluiu que, no instante inicial da frenagem, a velocidade do carro:

a) era de 72 km/h.

X b) estava abaixo do limite de 60 km/h.

c) estava acima do limite de 60 km/h.

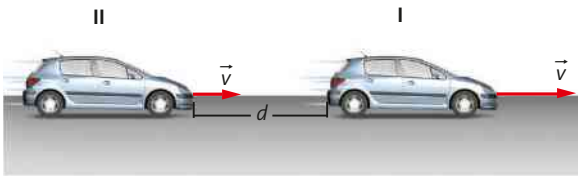
d) era de 54 km/h.

e) era de 60 km/h.

31. (UFRN) Após ser conscientizado por uma campanha da Polícia Rodoviária Federal, um motorista deseja saber qual a distância mínima que ele deveria manter de um veículo que trafegasse a sua frente, na mesma direção e sentido, para evitar uma possível colisão, caso esse veículo freasse repentinamente, obrigando-o a também frear bruscamente.

Pesquisando na internet, ele encontrou o valor de 0,6 s para o tempo de reação de um motorista, isto é, o intervalo de tempo entre ele perceber que o veículo a sua frente freou e o instante em que aciona os freios.

A figura a seguir ilustra uma situação em que dois veículos trafegam na mesma direção e sentido.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Considere que:

- os dois veículos estão a 72 km/h (20 m/s);
- o motorista do veículo **I** acionou os freios quando o veículo **II** se encontrava a uma distância *d*;
- durante a frenagem, os veículos percorrem a mesma distância.

Nessas condições, a distância mínima, *d*, entre os veículos, para que não ocorra colisão, deve ser:

a) 20 m.

b) 10 m.

c) 24 m.

X d) 12 m.

32. Durante a prática do *bungee jump*, uma pessoa, com uma corda amarrada em seus pés, cai durante 2,0 s praticamente em queda livre.

Considerando a aceleração da gravidade no local igual a 10 m/s², determine a velocidade, em km/h, atingida pela pessoa no final da queda livre e explique o que acontece com a aceleração e com a velocidade após a fase de queda livre.

$v_{máx.} = 72$ km/h. Veja complemento da resposta no Manual do Professor.

CAPÍTULO 4

Movimentos em duas dimensões

Veja comentários, orientações e sugestões sobre este capítulo no Manual do Professor.

Jorge Martinez/MEXSPORT/AFP



Jogadora brasileira Raquel Fernandes, em partida contra o México nos Jogos Pan-Americanos de Toronto, 2015.

Nesta imagem existe um elemento que atrai o interesse da física: a trajetória da bola. Quais elementos básicos são necessários para que possamos descrever o movimento de uma bola no espaço?

1 Grandezas escalares e grandezas vetoriais

Veja comentários e sugestões sobre este tópico no Manual do Professor.

Se você assistir a duas aulas seguidas, cada uma com 50 min de duração, ao final terá assistido a 100 min de aula (1 h 40 min). A adição de dois intervalos de tempo é feita de acordo com as propriedades da adição dos números reais, assim como ocorre com outras grandezas. Por exemplo, se adquirimos 1 kg de feijão e, em seguida, mais 2 kg, teremos 3 kg de feijão. Se colocarmos 2 L de água em um recipiente que já contenha 3 L, teremos 5 L de água no recipiente.

Entre outras, as grandezas físicas que acabamos de mencionar – tempo, massa e volume – são denominadas **grandezas escalares**. Tais grandezas ficam perfeitamente caracterizadas quando expressas simplesmente por um número acompanhado da unidade de medida.

Vejamos agora outro exemplo. Se você sair de sua casa e percorrer 4 km em linha reta e, em seguida, percorrer mais 3 km, também em linha reta, podemos afirmar com certeza que ao final do percurso você estará a 7 km de sua casa?

A resposta é **não**! O que podemos afirmar é que a distância entre você e sua casa estará compreendida entre 1 km e 7 km. Como isso é possível?

Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

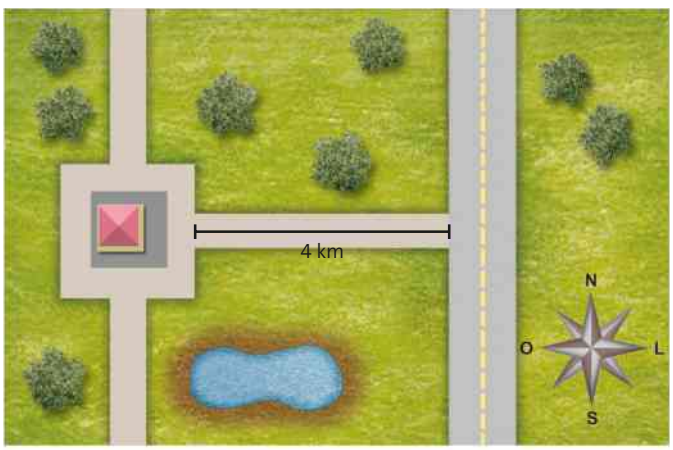


Figura 4.1 Representação (sem escala e em cores fantasia) de um deslocamento de 4 km para o leste.

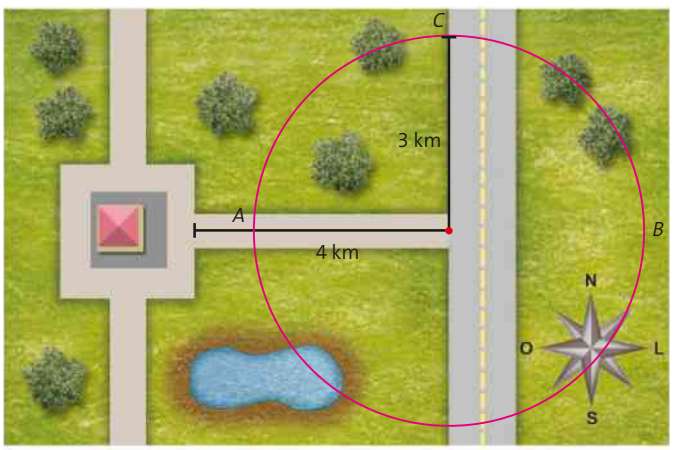


Figura 4.2 Representação (sem escala em cores fantasia) do raio de possíveis localizações após os dois deslocamentos.

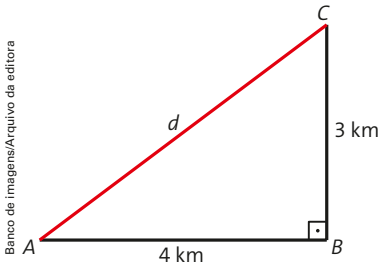
Em primeiro lugar, precisamos conhecer a orientação de cada deslocamento. Você saiu de sua casa e se afastou 4 km para: norte, sul, leste ou oeste? O mesmo podemos dizer do segundo deslocamento.

Para exemplificar, vamos considerar que o primeiro deslocamento tenha sido para leste, conforme mostra a figura 4.1. Vamos traçar agora o segundo trecho do percurso. Sabemos que esse deslocamento foi de 3 km, mas para onde? Existem várias possibilidades: norte, sul, leste, oeste, sudeste, noroeste, ... Para incluir todas as possibilidades, traçamos uma circunferência com raio de 3 km com centro na extremidade do primeiro deslocamento, conforme mostra a figura 4.2.

Observe na figura que, após percorrer o segundo trecho, você poderá estar em qualquer ponto da circunferência traçada, uma vez que todos os pontos dela estão a 3 km do final do primeiro deslocamento. Vamos destacar dois pontos em especial: o ponto *A*, que se encontra mais próximo de sua casa, e o ponto *B*, que é o ponto mais afastado.

Quais são as distâncias dos pontos *A* e *B* até sua casa? O ponto *A* está a 1 km de sua casa, e o ponto *B*, a 7 km. Observe que, para qualquer outro ponto da circunferência, a distância até sua casa será maior que 1 km e menor que 7 km. E se você estiver no ponto *C*, conforme mostrado na figura 4.2?

Nesse caso, a distância *d* do ponto *C* à sua casa é de 5 km, obtida por meio da aplicação do teorema de Pitágoras ao triângulo retângulo mostrado na **figura 4.3**.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 4.3 Aplicação do teorema de Pitágoras ao triângulo retângulo que representa o deslocamento do ponto *A* até o ponto *C*.

$$d^2 = 4^2 + 3^2 \Rightarrow d = \sqrt{16 + 9} \Rightarrow d = 5 \text{ km}$$

Nesse exemplo observamos que, para compor (somar) deslocamentos, não podemos proceder como nas grandezas escalares. O **deslocamento** é um exemplo de **grandeza vetorial** – uma grandeza que, para ser devidamente caracterizada, exige não só um número com a respectiva unidade, mas também uma **direção** e um **sentido**.

Uma observação importante é que "deslocamento" e "distância percorrida", embora possam ser expressas nas mesmas unidades, possuem significados diferentes. Enquanto o deslocamento é uma grandeza vetorial, a distância percorrida é uma grandeza escalar.

Vejamos um exemplo. Se você sair de sua casa e caminhar 4,0 km em linha reta e depois retornar 3,0 km pela mesma trajetória, o deslocamento será dado por: $d = 4{,}0 + (-3{,}0) = 1{,}0$ km, enquanto a distância percorrida será de $d_p = 4{,}0 + 3{,}0 = 7{,}0$ km.

Em Física encontramos várias grandezas vetoriais, como força, velocidade, aceleração, entre outras. Em algumas situações particulares, uma grandeza vetorial pode ser tratada como escalar, como no caso específico do tratamento dado à velocidade no capítulo 3.

Para refletir
Qual é a importância de saber se uma grandeza é escalar ou vetorial? O que deve ser considerado ao serem traçadas rotas de avião ou viagens de barco?

Exercícios

Veja complemento das respostas 2, 3 e 4 no Manual do Professor.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Escalares: temperatura, distância percorrida, área e volume.
Vetoriais: força, deslocamento, velocidade e aceleração.

1. Com base no texto deste tópico, construa no caderno uma tabela apropriada para classificar como escalares ou vetoriais as seguintes grandezas físicas: força, temperatura, deslocamento, distância percorrida, área, volume, velocidade e aceleração.

2. Um carro é mantido em movimento durante 2 h. O motorista afirma que, nesse intervalo de tempo, o deslocamento do carro foi de 60 km e a distância percorrida, de 180 km. **Isso é possível? Justifique.** Sim.

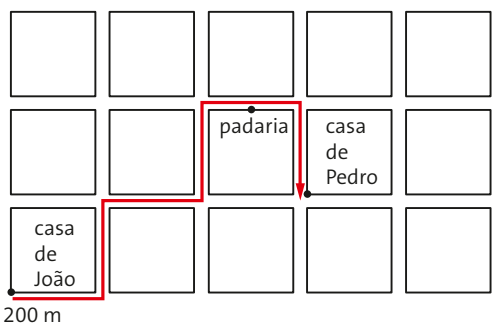
3. Em uma rodovia, um motorista observa uma placa com as seguintes informações:

– Petrópolis 16 km

– Teresópolis 53 km

Podemos afirmar que, certamente, a distância entre Petrópolis e Teresópolis é de 37 km? Justifique. Não.

4. João marcou de ir à casa de Pedro para fazer um trabalho de Filosofia, mas antes ele passou na padaria para comprar pães para o café da tarde. A figura a seguir mostra o caminho feito por ele. Note que cada quarteirão tem 200 m.



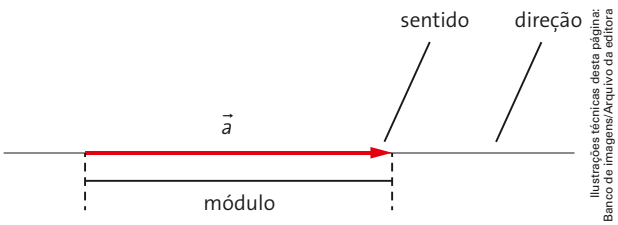
Qual o deslocamento e a distância percorrida por João? Justifique. Distância: 1200 m; deslocamento: 632 m.

2 Operações com vetores

Veja comentários e sugestões sobre este tópico no Manual do Professor.

Para efetuar operações (adição e subtração, por exemplo) com grandezas vetoriais, precisamos, em primeiro lugar, estabelecer um modo prático de representá-las, levando em conta que elas apresentam módulo, direção e sentido. Essa representação é feita com o uso de vetores.

Um **vetor** é um segmento de reta que agrega as características básicas das grandezas vetoriais – o módulo, a direção e o sentido (figura 4.4):



Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 4.4 Módulo, direção e sentido de um vetor simbolizado por $\vec{a}$.

- **Módulo** – O módulo (valor numérico ou intensidade) de um vetor é sempre um número real e positivo. Na representação gráfica, o comprimento do vetor corresponde ao módulo da grandeza que ele representa.
- **Direção** – A reta suporte de um vetor determina a sua direção.
- **Sentido** – A orientação do segmento (ponta de seta) indica o sentido do vetor.

Um vetor pode ser nomeado por uma letra qualquer, maiúscula ou minúscula, com uma seta sobre ela, indicando que representa uma grandeza vetorial.

Em segundo lugar, necessitamos das noções de vetores iguais e vetores opostos. Dois vetores são **iguais** quando apresentam o mesmo módulo, a mesma direção e o mesmo sentido; dois vetores são **opostos** quando apresentam o mesmo módulo, a mesma direção, mas sentidos contrários (figura 4.5).

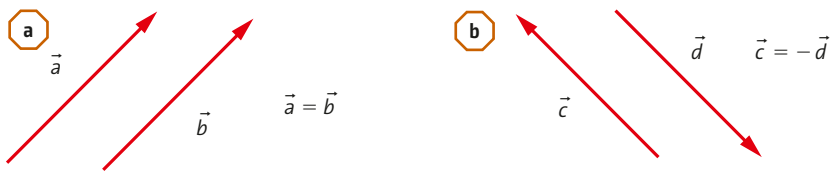


Figura 4.5 $\vec{a}$ e $\vec{b}$ são vetores iguais (**a**); $\vec{c}$ e $\vec{d}$ são vetores opostos (**b**).

Adição de vetores

Para efetuar uma adição de vetores, devemos primeiramente verificar se os vetores representam grandezas físicas da mesma espécie. Por exemplo: podemos somar duas ou mais forças, ou ainda dois ou mais deslocamentos; mas não podemos somar uma força com um deslocamento, porque estas não são grandezas da mesma espécie.

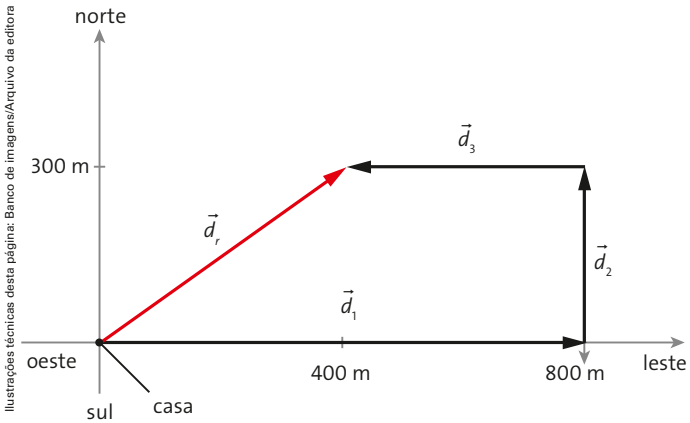
Para exemplificar a adição de vetores, vamos considerar um exemplo com a grandeza vetorial deslocamento. Suponha que uma pessoa, para chegar ao trabalho partindo de sua casa, efetue os seguintes deslocamentos: inicialmente, ela se desloca 800 m para o leste; em seguida, 300 m para o norte e, finalmente, 400 m para o oeste. Nessas condições, qual é a distância, em linha reta, da casa da pessoa ao trabalho? Qual é a distância efetivamente percorrida pela pessoa?

Veja resposta no Manual do Professor.

Para refletir

A condição de que as grandezas somadas sejam de mesma espécie vale somente para as grandezas vetoriais ou é válida também para as grandezas escalares?

Na figura 4.6, temos a ilustração dos três vetores, $\vec{d}_1$, $\vec{d}_2$ e $\vec{d}_3$, que representam cada um dos deslocamentos efetuados pela pessoa, e o vetor $\vec{d}_R$, que representa o deslocamento em linha reta da casa para o trabalho. O procedimento utilizado aqui para somar deslocamentos (grandezas vetoriais) é conhecido como **regra do polígono**.



Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 4.6 Representação dos três vetores deslocamento efetuados pela pessoa para ir de sua casa ao trabalho e o vetor deslocamento resultante.

Para refletir

Na regra do polígono, o resultado é o mesmo se alterarmos a ordem de colocação dos vetores (deslocamentos)?

Veja resposta no Manual do Professor.

O vetor $\vec{d}_R$ é chamado de **vetor soma** ou **vetor resultante** dos vetores $\vec{d}_1$, $\vec{d}_2$ e $\vec{d}_3$:

$$\vec{d}_R = \vec{d}_1 + \vec{d}_2 + \vec{d}_3$$

Para calcular o módulo do vetor $\vec{d}_R$, utilizamos a figura 4.7, obtida com base na figura 4.6, e usamos o teorema de Pitágoras:

$$d_R = |\vec{d}_R| = \sqrt{(400)^2 + (300)^2} \Rightarrow |\vec{d}_R| = 500 \text{ m}$$

Portanto, a distância, em linha reta, da casa da pessoa ao trabalho é 500 m. Por outro lado, como a distância percorrida é uma grandeza escalar, a distância efetivamente percorrida pela pessoa, d_p, é dada por:

$$d_p = d_1 + d_2 + d_3 \Rightarrow d = 800 + 300 + 400 \Rightarrow d_p = 1500 \text{ m}$$

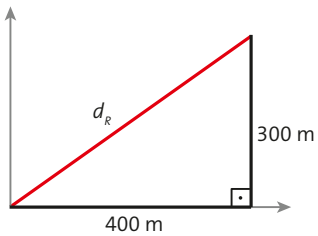
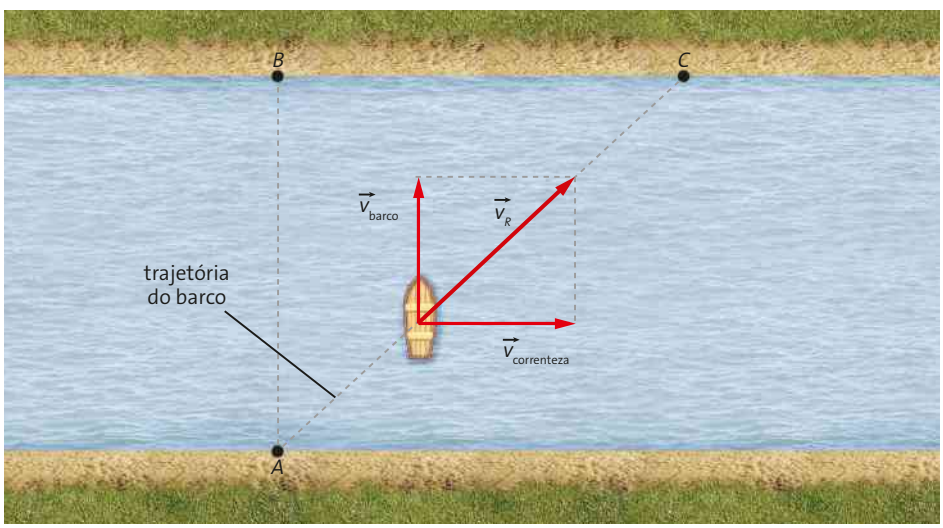


Figura 4.7 O segmento de reta, que representa o módulo do vetor resultante, é a hipotenusa de um triângulo retângulo de catetos 400 m e 300 m.

Há um caso particular de adição de vetores que se aplica a muitas das situações analisadas no estudo das grandezas vetoriais: a adição de dois vetores. Vejamos o exemplo ilustrado na figura 4.8. O piloto de um barco pretende atravessar um rio com correnteza. Se ele partir do ponto *A* e mantiver a proa do barco numa direção perpendicular à correnteza, conseguirá atingir a margem oposta no ponto *B*, situado na mesma perpendicular que passa pelo ponto de saída?



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 4.8 A velocidade resultante do barco é a soma vetorial da velocidade do barco em relação à correnteza com a velocidade da correnteza em relação à margem.

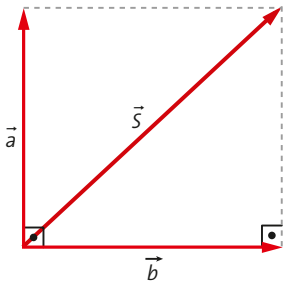


Figura 4.9 Aplicação da regra do paralelogramo.

Para a determinação do ponto exato em que o barco atingirá a margem oposta, assim como em diversas outras situações que envolvem a adição de dois vetores, podemos utilizar o método conhecido como **regra do paralelogramo**.

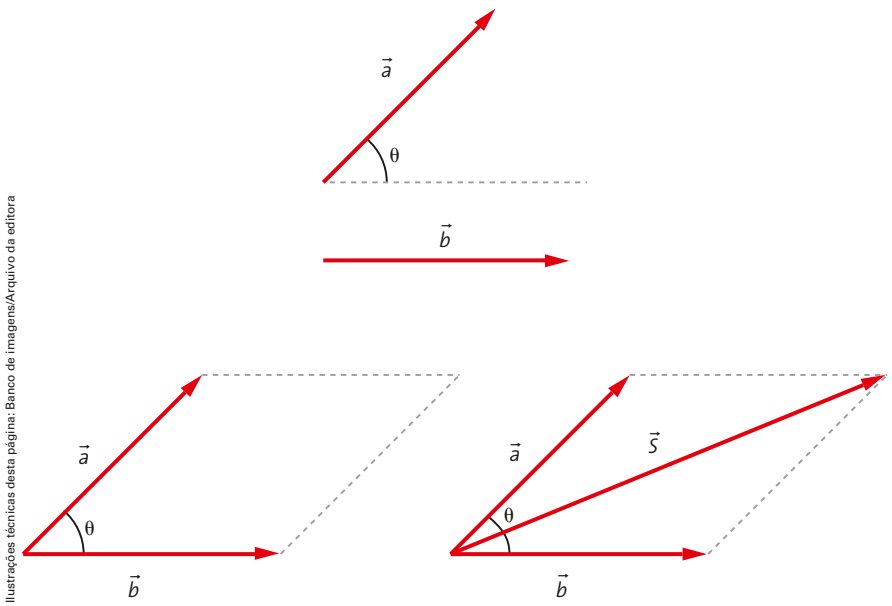
Na **figura 4.9**, considere que o vetor $\vec{a}$ represente a velocidade do barco em relação à correnteza e o vetor $\vec{b}$ represente a velocidade da correnteza em relação à margem. O vetor $\vec{S}$ representa a soma vetorial das duas velocidades. Traçamos os dois vetores a partir de uma origem comum; a partir da extremidade do vetor $\vec{a}$, traçamos um segmento de reta paralelo à direção do vetor $\vec{b}$; a partir da extremidade de $\vec{b}$, traçamos um segmento de reta paralelo à direção de $\vec{a}$; o vetor soma (resultante) é dado pelo segmento de reta orientado do ponto de origem comum ao ponto de cruzamento dos segmentos de reta traçados anteriormente.

$$\vec{S} = \vec{a} + \vec{b}$$

Como o vetor $\vec{a}$ é perpendicular ao vetor $\vec{b}$, o **módulo** do vetor soma $\vec{S}$ é dado por:

$$S = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Esse procedimento pode ser utilizado para obter a soma de dois vetores qualquer que seja o ângulo entre eles, bastando para isso que eles sejam coplanares, isto é, que estejam ambos em um mesmo plano. Na **figura 4.10**, temos a adição dos vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$, sendo θ o ângulo entre eles.



Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

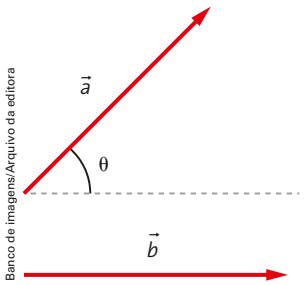
Figura 4.10 Representação esquemática da aplicação da regra do paralelogramo para a obtenção do vetor soma entre dois vetores quaisquer.

Conhecendo-se os módulos dos vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$ e o ângulo θ entre eles, o módulo do vetor $\vec{S}$ (vetor soma) é dado por:

$$S = \sqrt{a^2 + b^2 + 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos\theta}$$

Subtração de vetores

Suponha que um carro em movimento apresente, em determinado instante, uma velocidade (módulo, direção e sentido) representada pelo vetor $\vec{a}$, e após um intervalo de tempo, uma velocidade representada pelo vetor $\vec{b}$, conforme mostrado na **figura 4.11**.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 4.11 A linha tracejada representa a direção do vetor $\vec{b}$, evidenciando o ângulo entre os vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$.

Como as duas velocidades são diferentes, podemos dizer que houve uma variação de velocidade. Essa variação de velocidade é um vetor ($\vec{d}$) dado pela subtração entre os vetores $\vec{b}$ e $\vec{a}$. Em símbolos, escrevemos:

$$\vec{d} = \vec{b} - \vec{a}$$

Essa operação pode ser entendida como:

$$\vec{d} = \vec{b} + (-\vec{a})$$

ou seja, a subtração de dois vetores $\vec{b}$ e $\vec{a}$ pode ser entendida como a soma do vetor $\vec{b}$ com o vetor oposto de $\vec{a}$. Dessa forma, podemos aplicar a regra do paralelogramo à subtração de dois vetores.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Exercícios

5. Devido à revitalização da praça do centro da cidade, para ir de sua casa à escola, Pedro faz o seguinte trajeto: caminha 500 m no sentido norte, em seguida, 600 m no sentido leste e, finalmente, 300 m no sentido norte.

a) Represente em uma figura os três deslocamentos efetuados por Pedro, colocando um em seguida ao outro, e o deslocamento resultante.
Veja resposta no Manual do Professor.

b) Com base na figura do item **a**, determine a distância percorrida e o módulo do deslocamento resultante efetuado por Pedro. $d_{perc.} = 1400$ m; $d_R = 1000$ m

6. Para atingir seu destino, um avião deve voar com velocidade constante de 360 km/h de norte para sul durante 2 horas. Logo após atingir a velocidade de cruzeiro, ele entra em uma região onde o vento sopra com velocidade constante de 150 km/h de leste para oeste.

a) Em relação ao solo, com que velocidade o avião se movimenta nessa região? 390 km/h

b) Se o navegador não corrigir a rota do avião e o vento agir durante todo o tempo, a que distância o avião estará do ponto de destino depois de duas horas de voo? 300 km

7. Um carro movimenta-se em uma rua com velocidade de 16 m/s. Num dado momento, o carro faz a curva em uma esquina e passa a se movimentar com velocidade de 12 m/s. Sabendo que as ruas são perpendiculares entre si e que o módulo da variação vetorial do carro é dado por $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$, indique a alternativa correta:

a) O vetor velocidade do carro varia somente em módulo.

b) O módulo da variação vetorial da velocidade do carro é 4,0 m/s.

c) A direção do vetor velocidade permanece constante.

X d) O módulo da variação vetorial da velocidade do carro é 20 m/s.

Veja sugestões e comentários sobre este tópico no Manual do Professor.

3 Deslocamento vetorial e velocidade vetorial

Paulo Manzi/Arquivo da editora

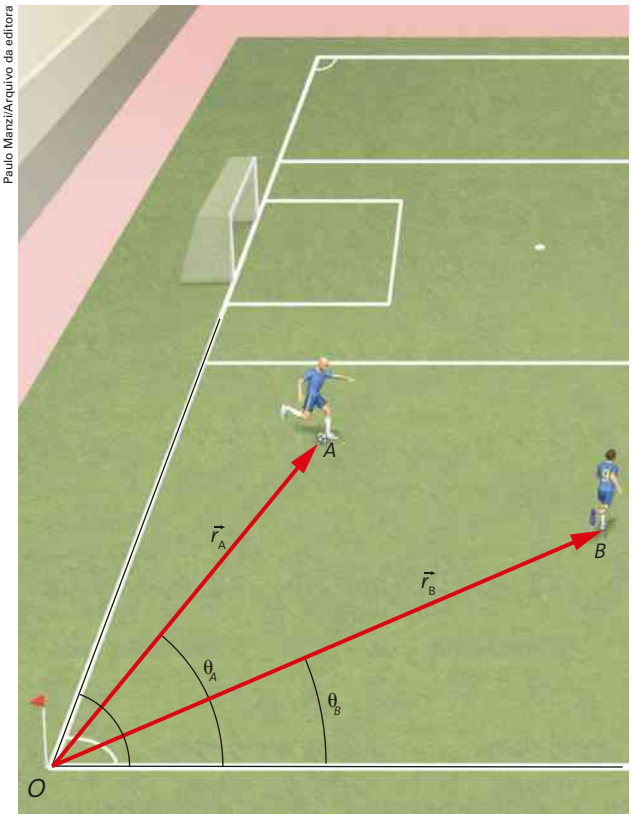


Figura 4.12 Posições de dois jogadores (*A* e *B*) em um campo de futebol, cada qual expressa por um vetor $\vec{r}$, em relação a um ponto de referência *O*.

Banco de imagens/Arquivo da editora

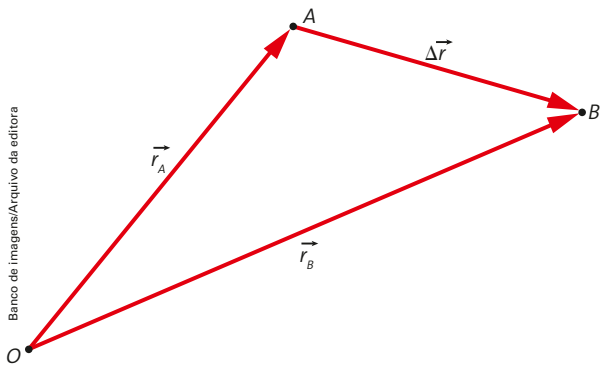


Figura 4.13 Observe que $\vec{r}_A + \Delta\vec{r} = \vec{r}_B$. Portanto: $\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$.

No cotidiano, a maioria dos movimentos acontece no espaço tridimensional, em várias direções e sentidos. Isso significa que a posição, o deslocamento, a velocidade e a aceleração de um ponto material são grandezas vetoriais.

Para exemplificar, vamos considerar um evento comum: uma partida de futebol. Para identificar a posição dos jogadores, em um determinado instante da partida, podemos adotar como referencial, por exemplo, a base do mastro da bandeira de escanteio (ponto *O* da **figura 4.12**) e a linha lateral horizontal adjacente.

Observe na figura que, no instante considerado, cada jogador tem a sua posição determinada por um segmento de reta, com origem em *O* e extremidade na posição que ele ocupa. A direção dos segmentos orientados pode ser expressa pelo ângulo entre cada segmento e a linha lateral.

Vamos descrever a posição da bola que se encontra com o jogador *A*. Admitindo que a posição da bola seja a mesma do jogador, o vetor $\vec{r}_A$ tem as seguintes características:

- intensidade: medida da distância $\overline{OA}$;
- direção: reta que contém os pontos *O* e *A*;
- sentido: de *O* para *A*.

O vetor posição $\vec{r}$ de um ponto material é o vetor com origem em um ponto de referência, arbitrariamente escolhido, com extremidade na posição ocupada pelo ponto material e com intensidade igual à distância que o separa da origem.

Voltemos ao nosso exemplo do jogo de futebol. Suponha que a bola seja passada do jogador *A* para o jogador *B*. Nesse processo, a bola sofre um deslocamento. Esse deslocamento é uma grandeza vetorial com origem no ponto *A* e extremidade no ponto *B* (**figura 4.13**) e corresponde à diferença entre o vetor posição no final da jogada ($\vec{r}_B$) e o vetor posição inicial ($\vec{r}_A$).

O vetor deslocamento ($\Delta\vec{r}$) é dado por:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$$

Observe que o vetor deslocamento ($\Delta\vec{r}$) entre *A* e *B* independe do fato de a trajetória da bola, entre essas duas posições, ser retilínea ou curvilínea. O vetor deslocamento apenas indica, no intervalo de tempo considerado, a variação do vetor posição.

Em relação à velocidade vetorial, vamos iniciar com a **velocidade vetorial média**. No exemplo ilustrado na **figura 4.13**, se o deslocamento vetorial $\Delta\vec{r}$ da bola ocorreu em um intervalo de tempo Δt, então a velocidade vetorial média $\vec{v}_m$ é dada pela razão entre o vetor deslocamento e o correspondente intervalo de tempo, ou seja:

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

O vetor velocidade média tem a mesma direção e o mesmo sentido do vetor deslocamento, pois o intervalo de tempo (grandeza escalar) é sempre um número real positivo.

E o que podemos dizer da velocidade vetorial instantânea? No instante em que olhamos para o velocímetro de um carro, identificamos o módulo da velocidade escalar. Caso o movimento do carro seja retilíneo, identificamos também a velocidade vetorial nesse mesmo instante.

Observe a **figura 4.14**, em que a direção da velocidade vetorial é a direção da reta sobre a qual o veículo se move, e o sentido é o mesmo em que o movimento ocorre. Caso o movimento do carro seja curvilíneo, a direção do vetor velocidade instantânea é a direção da reta tangente à curva no ponto considerado; o sentido é o indicado pela orientação do vetor, e a intensidade é o módulo da velocidade escalar no instante considerado (**figura 4.15**).

Ilustrações: Banco de imagens/ Arquivo da editora

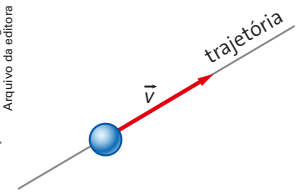


Figura 4.14 Vetor velocidade instantânea.

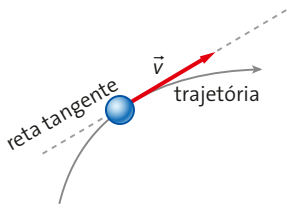
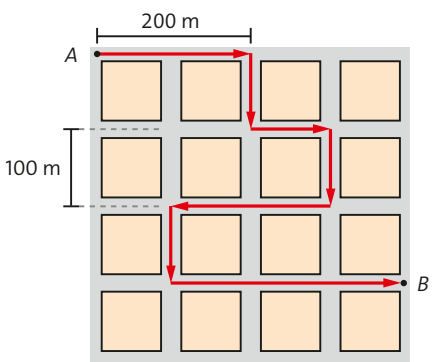


Figura 4.15 Vetor velocidade instantânea em um movimento curvilíneo.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

Exercícios

8. Uma pessoa percorre em 20 minutos as ruas de um bairro, de *A* até *B*, como mostra a figura.
As ruas são paralelas, tanto na horizontal como na vertical, e separadas por 100 m.



Nessas condições, determine, para o trajeto de *A* até *B* indicado na figura:

a) a distância percorrida pela pessoa; 1100 m

b) o módulo do deslocamento vetorial; 500 m

c) o módulo da velocidade vetorial média. 25 m/min

9. (Enem) As cidades de Quito e Cingapura encontram-se próximas à linha do equador e em pontos diametralmente opostos no globo terrestre. Considerando o raio da Terra igual a 6 370 km, pode-se afirmar que um avião saindo de Quito, voando em média 800 km/h, descontando as paradas de escala, chega a Cingapura em aproximadamente ($\pi = 3{,}14$):

a) 16 horas. x c) 25 horas. e) 36 horas.

b) 20 horas. d) 32 horas.

4 Aceleração vetorial

Veja sugestões e comentários sobre este tópico no Manual do Professor.

A **figura 4.16** mostra o esquema do Autódromo de Interlagos (Autódromo José Carlos Pace), na cidade de São Paulo, SP, com as respectivas velocidades de um carro de Fórmula 1 em uma volta completa.



Figura 4.16 Nesta representação (sem escala e em cores fantasia), os retângulos vermelhos indicam a velocidade típica de um carro de Fórmula 1, em km/h, em cada trecho do circuito.

Vamos destacar duas curvas dessa trajetória: a Curva do Laranja e a Curva da Junção. Na Curva do Laranja, vamos supor que o carro mantenha a velocidade constante de 80 km/h (como indicada na figura), em módulo, durante toda a curva, e que na Curva da Junção, o carro entre a 245 km/h e saia com velocidade de 105 km/h, iniciando a Subida dos boxes. Em qual das curvas houve variação da velocidade do carro?

A resposta é: nas duas. Na Curva do Laranja, a velocidade foi mantida constante em módulo, mas houve variação na direção e no sentido; já na Curva da Junção, a velocidade variou em módulo, direção e sentido. Dizemos que, em ambos os casos, houve variação do vetor velocidade, ou seja, o movimento do carro apresentou aceleração vetorial.

Sendo Δt o intervalo de tempo entre a entrada do carro na curva, com velocidade $\vec{v}_1$, e a saída da curva, com velocidade $\vec{v}_2$, a aceleração vetorial média $\vec{a}_m$ é definida pela razão entre a variação vetorial da velocidade e o correspondente intervalo de tempo, isto é:

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$$

O vetor aceleração vetorial média tem a mesma direção e sentido do vetor $\Delta\vec{v}$, e seu módulo é dado em m/s² (SI).

A **figura 4.17** mostra um móvel em movimento curvilíneo variado. Para obter o vetor $\Delta\vec{v}$, transladamos os vetores $\vec{v}_0$ e $\vec{v}$ para uma origem comum O e, a seguir, obtemos $\Delta\vec{v}$ geometricamente.

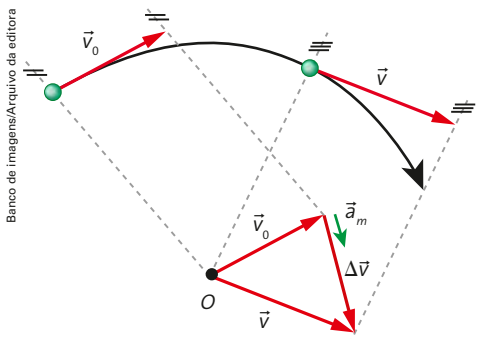
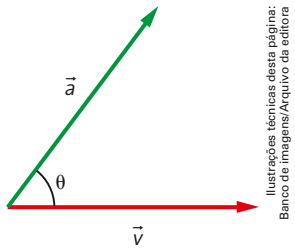


Figura 4.17 Construção geométrica para obtenção da variação vetorial da velocidade $\Delta\vec{v}$.

Aceleração tangencial e aceleração centrípeta

A aceleração vetorial instantânea $\vec{a}$ é a aceleração vetorial de um móvel em cada ponto de sua trajetória. Ela é representada por um vetor que pode formar um ângulo qualquer, entre 0° e 180°, com o vetor velocidade instantânea $\vec{v}$, conforme mostra a **figura 4.18**.



Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 4.18 O ângulo θ entre os vetores $\vec{v}$ (velocidade vetorial instantânea) e $\vec{a}$ (aceleração vetorial instantânea) pode variar de 0° a 180°.

Todo vetor pode ser decomposto em dois outros perpendiculares entre si, denominados componentes do vetor. Sabendo disso, vamos decompor o vetor aceleração vetorial instantânea, tomando como base a direção do vetor velocidade. A **figura 4.19** ilustra essa decomposição.

O componente da aceleração que tem a direção do vetor velocidade é chamado de aceleração tangencial $\vec{a}_t$, pois é tangente à trajetória, enquanto o outro componente, que é perpendicular à direção do vetor velocidade, é chamado de aceleração centrípeta $\vec{a}_c$, ou aceleração normal. Vale destacar que, ao contrário do que possa parecer, o uso desses componentes (um na direção do vetor velocidade e outro na perpendicular) só está sendo proposto aqui por ser um recurso adequado e conveniente para facilitar esse estudo, como veremos ao longo deste capítulo.

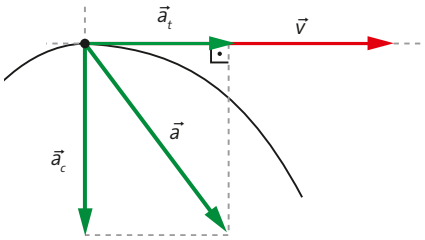


Figura 4.19 Vetores aceleração tangencial $\vec{a}$ e aceleração centrípeta $\vec{a}$, componentes da aceleração vetorial instantânea $\vec{a}$.

Os movimentos em geral podem apresentar esses dois componentes (aceleração tangencial e centrípeta), ou somente um deles. Há também movimentos que não apresentam aceleração alguma; nesse caso, o vetor velocidade é constante, isto é, o movimento é retilíneo e uniforme.

Movimentos que têm apenas aceleração tangencial

Nesse caso, o módulo da aceleração tangencial é o módulo da aceleração escalar, ou seja, $|\vec{a}_t| = |\vec{a}|$. Quando os vetores $\vec{v}$ e $\vec{a}$ têm a mesma direção, o vetor velocidade sofre variação apenas em sua intensidade, isto é, mantém a sua direção, ainda que eventualmente inverta o sentido. O movimento nesse caso é retilíneo e acelerado (ou retardado), conforme mostra a **figura 4.20**.

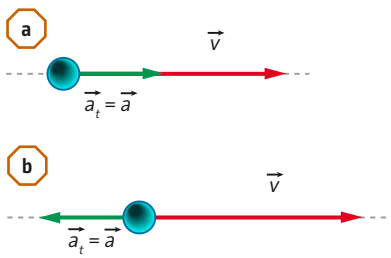


Figura 4.20 Representação dos vetores $\vec{a}$ e $\vec{v}$ em um movimento retilíneo acelerado (**a**) e em um movimento retilíneo retardado (**b**).

Movimentos que têm apenas aceleração centrípeta

Se um movimento apresenta apenas aceleração centrípeta, significa que o módulo do vetor velocidade é constante, mas sua direção e sentido variam: o movimento é curvilíneo e uniforme. Na **figura 4.21**, temos um corpo em movimento circular e uniforme, ou seja, $r_1 = r_2 = R$ e $|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v$.

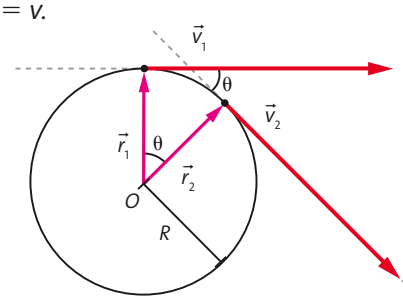


Figura 4.21 Vetor posição ($\vec{r}$) e vetor velocidade instantânea ($\vec{v}$) de um corpo em movimento circular e uniforme em dois instantes distintos.

Geometricamente, demonstra-se que o ângulo θ, determinado pelos vetores velocidade $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$, tem a mesma medida que o ângulo central correspondente ao arco descrito pelo corpo. Com base na disposição relativa dos vetores, podemos montar os triângulos mostrados na **figura 4.22**.

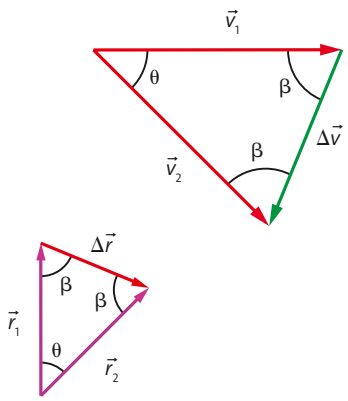


Figura 4.22 Os ângulos designados por β foram assinalados apenas para frisar que ambos os triângulos são isósceles.

Como esses dois triângulos são semelhantes, podemos escrever:

$$\frac{|\Delta\vec{v}|}{v_1} = \frac{|\Delta\vec{r}|}{r_1} = \frac{|\Delta\vec{v}|}{v} = \frac{|\Delta\vec{r}|}{R} \Rightarrow |\Delta\vec{v}| = \frac{v}{R} \cdot |\Delta\vec{r}|$$

Dividindo ambos os membros desta última expressão pelo correspondente intervalo de tempo Δt, obtemos:

$$\frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t} = \frac{v}{R} \cdot \frac{|\Delta\vec{r}|}{\Delta t}$$

Para um intervalo de tempo muito pequeno, o quociente $\frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t}$ é a intensidade da aceleração vetorial instantânea que, nesse caso especial, coincide com a aceleração centrípeta, e $\frac{|\Delta\vec{r}|}{\Delta t}$ é a intensidade da velocidade vetorial instantânea $\vec{v}$. Assim, a expressão acima pode ser escrita como:

$$|\vec{a}_c| = \frac{v}{R} \cdot |\vec{v}|$$

Nesta expressão, concluímos que o módulo do vetor aceleração centrípeta é dado pela razão entre o quadrado do módulo da velocidade e pelo raio da circunferência:

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

Trabalho em equipe

Veja resposta no Manual do Professor.

Reúna-se com um colega e, com base nas informações dadas sobre as acelerações tangencial e centrípeta, construam no caderno uma tabela como a que é apresentada ao lado. Nela, indiquem:

- se o movimento apresenta ou não a aceleração citada;
- a posição relativa (o ângulo) entre os vetores $\vec{v}$ (velocidade) e $\vec{a}$ (aceleração).

Comparem os resultados com as demais duplas e discutam as divergências, se houver.

Movimento	Aceleração tangencial	Aceleração centrípeta	Posição relativa: entre $\vec{v}$ e $\vec{a}$
MRU			
MRUA			
MRUR			
MCU			
MCUA			
MCUR			

Exercícios

10. Um jogador de tênis recebe uma bola com velocidade de 20 m/s e a rebate na mesma direção e em sentido contrário, com a mesma velocidade de 20 m/s. A bola permanece em contato com a raquete do tenista durante 0,10 s.

a) Houve variação na velocidade vetorial da bola? Se sim, de quanto? Sim; 40m/s

b) Qual é o módulo da aceleração vetorial média da bola? 400 m/s²

11. Para responder a esta questão, utilize a **figura 4.16**, que representa o Autódromo de Interlagos, na cidade de São Paulo. Nessa figura, considere os seguintes trechos: Reta das Arquibancadas, Curva do Sol, Reta Oposta e Curva do Laranja. Em qual(is) dele(s) existe(m), com certeza:

a) variação do vetor velocidade? Em todas.

b) aceleração tangencial? Reta das Arquibancadas, Curva do Sol e Reta Oposta.

c) aceleração centrípeta? Curvas do Sol e do Laranja.

5 Movimentos circulares

Veja comentários sobre este tópico no Manual do Professor.

Na Grécia antiga, o movimento circular era considerado "o movimento perfeito", e acreditava-se ser esse o tipo de movimento que as estrelas e os planetas apresentavam em torno da Terra.

Em nosso cotidiano, o movimento circular é encontrado em uma infinidade de dispositivos. Basta observar o movimento descrito pelos ponteiros de um relógio (figura 4.23.a), pelas polias de um guindaste, pelas hélices de um avião (figura 4.23.b) ou de um ventilador. Nas pesquisas sobre partículas subatômicas, os físicos utilizam um acelerador denominado síncroton protônico (figura 4.24), no qual prótons efetuam cerca de 400 mil viagens circulares para atingir a velocidade necessária para o experimento.



DOE Photo/Alamy/Latinstock

Figura 4.24
Vista aérea do Fermilab, acelerador de partículas localizado em Batávia (estado de Ilinóis, Estados Unidos), em 2010.



a

Gunnar Pippel/Shutterstock/Glow Images



b

Alex Veresovich/Shutterstock

Figura 4.23 O movimento dos ponteiros de um relógio (**a**) e das hélices de um avião (**b**) são exemplos de movimento circular.

As imagens desta página não estão representadas em proporção.

A tabela 4.1 apresenta os dois conjuntos de grandezas e unidades: as lineares e as angulares.

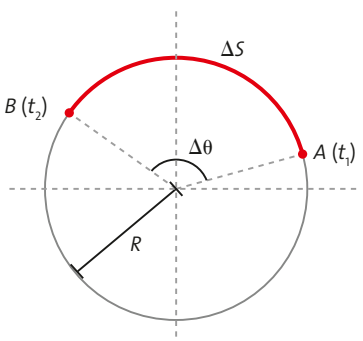
Tabela 4.1 Grandezas lineares e grandezas angulares e suas unidades

Grandeza linear	Unidade	Grandeza angular	Unidade
deslocamento escalar: (ΔS)	m	deslocamento angular ($\Delta\theta$)	rad
velocidade escalar: (v)	m/s	velocidade angular (ω)	rad/s
aceleração escalar: (a)	m/s^2	aceleração angular (γ)	rad/s^2

No movimento circular, o deslocamento realizado por uma partícula (figura 4.25), em um dado intervalo de tempo, pode ser expresso de dois modos: pela grandeza escalar ΔS, medida ao longo da trajetória; ou pela grandeza angular $\Delta\theta$, igual à medida do ângulo central que abrange a trajetória da partícula.

Assim, temos:

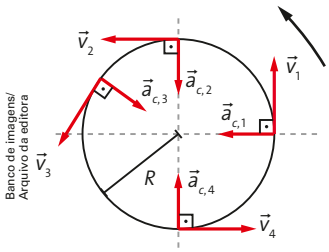
- deslocamento escalar = deslocamento angular × raio: $\Delta S = \Delta\theta \cdot R$;
- velocidade escalar = velocidade angular × raio: $v = \omega \cdot R$;
- aceleração escalar = aceleração angular × raio: $a = \gamma \cdot R$.



Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 4.25 No movimento circular podemos medir o deslocamento de duas maneiras.

Movimento circular e uniforme (MCU)



Banco de imagens/ Arquivo da editora

Figura 4.26 Velocidade vetorial instantânea ($\vec{v}$) e vetor aceleração centrípeta ($\vec{a}_c$) em diversos instantes de um movimento circular e uniforme.

No MCU, a trajetória é uma circunferência e o vetor velocidade é variável apenas na direção e sentido. Nessas condições, a aceleração tangencial é nula e a aceleração centrípeta é constante em módulo, mas variável na direção e sentido (**figura 4.26**).

O movimento circular e uniforme é **periódico**, ou seja, em intervalos de tempo iguais, o móvel ocupa a mesma posição. Esse intervalo de tempo é denominado **período** (***T***) e é dado em segundos. O inverso do período é a **frequência** (***f***), que representa o número de voltas que o corpo efetua em uma unidade de tempo, dada em hertz (Hz): 1 Hz significa 1 rotação por segundo.

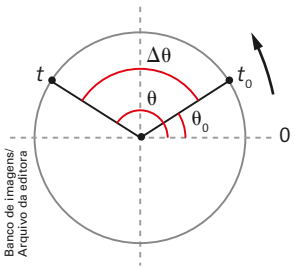
Assim, se um móvel dá 300 rotações por minuto, a frequência é 5 Hz (5 rotações por segundo) e o período (inverso da frequência) é $\frac{1}{5}$ s = 0,20 s (intervalo de tempo para uma rotação).

No MCU, a velocidade é constante em módulo. Utilizando as grandezas angulares, a **velocidade angular** (ω) é dada por:

$$\omega = \omega_m = \frac{\Delta\theta}{\Delta T}$$

Para uma volta completa, temos: $\Delta\theta = 2\pi$ rad e $\Delta t = T$ (período). Assim:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \text{ (rad/s)}$$



Banco de imagens/ Arquivo da editora

Figura 4.27 Variação angular em um movimento circular.

No MCU, a velocidade vetorial é constante em módulo, mas é variável na direção e no sentido. Sendo assim, no MCU não há aceleração tangencial, há somente aceleração centrípeta, dada por $a_c = \frac{v^2}{R}$.

Finalmente, podemos estabelecer a função horária do MCU. De acordo com a **figura 4.27**, escrevemos:

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 \quad \text{e} \quad \Delta t = t - t_0$$

Substituindo na expressão da velocidade angular, obtemos:

$$\omega = \frac{\theta - \theta_0}{t - t_0}$$

E, para $t_0 = 0$, obtemos a função horária do MCU na forma angular:

$$\theta = \theta_0 + \omega \cdot t$$

Veja comentários e sugestões sobre este tópico no Manual do Professor.

As imagens desta página não estão representadas em proporção.

Movimentos concêntricos e transmissão de MCU

Os movimentos concêntricos e a transmissão de movimento circular e uniforme podem ser feitos por meio de polias, engrenagens, correntes e correias. As **figuras 4.28**, **4.29** e **4.30** mostram algumas situações.


PavelSh/Shutterstock/Glow Images

Figura 4.28 Transmissão por meio de corrente.


Volodymyr Krasyuk/Shutterstock

Figura 4.29 Representação de transmissão por meio de engrenagens.


Evgeny Korshenkov/ Shutterstock/Glow Images

Figura 4.30 Transmissão por meio de correias lisas e de correias dentadas.

Polia é um disco rígido que pode girar em torno de seu centro (figura 4.31). No caso específico das polias e das engrenagens, devemos constatar que todos os pontos de um corpo rígido em rotação têm a mesma velocidade angular.

Na figura 4.32, P_1, P_2 e P_3 representam três pontos de um disco rígido em rotação em torno do ponto O (centro de rotação). Observe que os três pontos, P_1, P_2 e P_3, estão inicialmente alinhados com o ponto O e continuam alinhados após a rotação, pois, como o corpo é rígido, posição relativa de todos os pontos se mantém. Em decorrência dessa propriedade, esses três pontos têm o mesmo deslocamento angular, mas deslocamentos escalares diferentes.

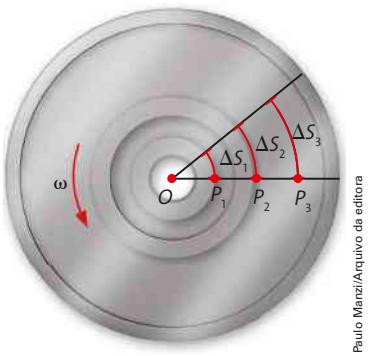
$$\Delta\theta_1 = \Delta\theta_2 = \Delta\theta_3 \quad \text{e} \quad \Delta S_1 < \Delta S_2 < \Delta S_3$$

A velocidade angular é a mesma para todos os pontos do corpo, mas a velocidade linear de cada ponto depende da distância do ponto considerado até o centro de rotação.

O movimento de rotação de uma polia pode ser transmitido a outra polia. Essa transmissão pode ser feita por meio de uma correia dobrável e inextensível, conforme mostra a figura 4.33.

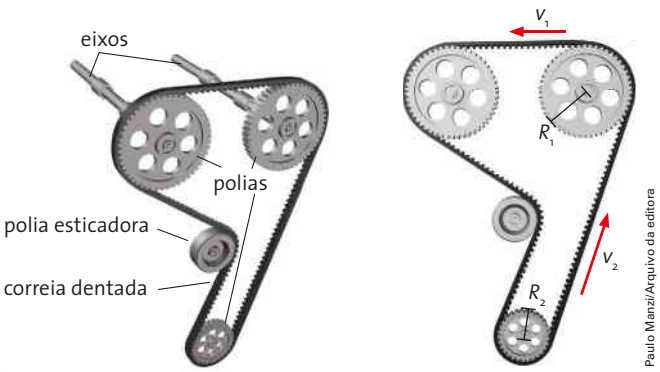

MilanB/Shutterstock/Glow Images

Figura 4.31 Um tipo de polia bastante comum; todos os seus pontos têm a mesma velocidade angular.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 4.32 Representação do deslocamento escalar de diferentes pontos de um disco em rotação.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 4.33 Transmissão de movimento circular por meio de correia dentada.

O fato de a correia ser inextensível garante que todos os seus pontos tenham a mesma velocidade linear, uma vez que não se afastam nem se aproximam uns dos outros, se medirmos as distâncias entre eles ao longo da correia. Assim, na situação mostrada nessa figura, temos: $v_1 = v_2$.

Com essa expressão, e lembrando que $v = \omega \cdot R$, obtemos:

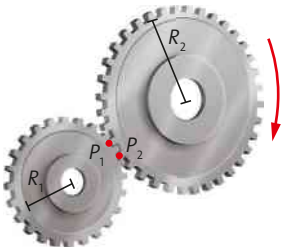
$$\omega_1 \cdot R_1 = \omega_2 \cdot R_2$$

Como $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, vem: $2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot R_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot R_2$. Portanto:

$$f_1 \cdot R_1 = f_2 \cdot R_2$$

Essa equação demonstra que, na transmissão de movimento circular por meio de polias, **a polia de maior raio tem menor velocidade angular (menor frequência)**.

Esse princípio, entre várias outras utilidades, é aplicado nas bicicletas. A diferença é que, em vez de polias, as bicicletas têm **rodas dentadas**, e a transmissão do movimento é feita por meio de uma corrente.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 4.34 Duas engrenagens acopladas.

A equação que obtivemos para as polias também se aplica às **engrenagens**. A transmissão do movimento, nesse caso, se dá pelo contato direto de uma engrenagem com outra, dispensando o uso de correia ou de qualquer outro elemento intermediário. As engrenagens são dotadas de dentes que se encaixam aos dentes das outras, o que evita que haja escorregamento entre elas. A **figura 4.34** mostra duas engrenagens acopladas.

Nas engrenagens, os pontos dos dentes que estão em contato (pontos P_1 e P_2), têm a mesma velocidade linear, ou seja: $v_1 = v_2$. Logo, aplicando às engrenagens o mesmo raciocínio que utilizamos no caso das polias, chegamos à mesma conclusão ($f_1 \cdot R_1 = f_2 \cdot R_2$), isto é, a engrenagem de maior raio gira com menor frequência.

Esse tipo de transmissão é usado na caixa de câmbio dos automóveis, com a mesma finalidade das marchas da bicicleta (**figura 4.35**). Nas subidas, usam-se as primeiras marchas, transmitindo assim menor velocidade (e maior força) do motor para as rodas que impulsionam o veículo; já nos trechos planos, quando o tráfego permite, usam-se as últimas marchas para obter velocidades maiores.


loraks/Shutterstock

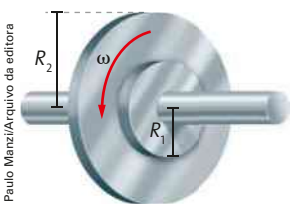
Figura 4.35 Seção transversal do câmbio de um automóvel. Nesse equipamento, a transmissão de movimento circular ocorre por meio de engrenagens.

Podemos ter também **duas polias concêntricas e solidárias** (ou duas engrenagens, dispostas dessa mesma maneira), conforme mostrado na **figura 4.36**.

Nesse caso, as duas polias (ou as duas engrenagens) têm a mesma velocidade angular, ou seja, $\omega_1 = \omega_2$. Para as velocidades lineares dos pontos periféricos das polias, temos:

$$\left.\begin{aligned} v_1 &= \omega \cdot R_1 \\ v_2 &= \omega \cdot R_2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Finalmente, podemos ter **associações mistas**. A **figura 4.37** ilustra um exemplo que engloba alguns dos casos anteriores. Em tais situações, a associação é analisada por partes, ou seja, equacionamos a transmissão passo a passo, de dois em dois elementos.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 4.36 Polias concêntricas e solidárias. No comércio, esse arranjo também é conhecido como polia escalonada.


Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 4.37 Associação mista de polias, com o emprego de duas correias para transmitir movimento.

Veja comentários e respostas desta seção no Manual do Professor.

O funcionamento de uma bicicleta

Em uma bicicleta, a engrenagem que é movimentada pelos pedais, denominada coroa (1), é ligada por uma corrente à engrenagem acoplada à roda traseira, que é conhecida como catraca (2). Veja a **figura a**.

a



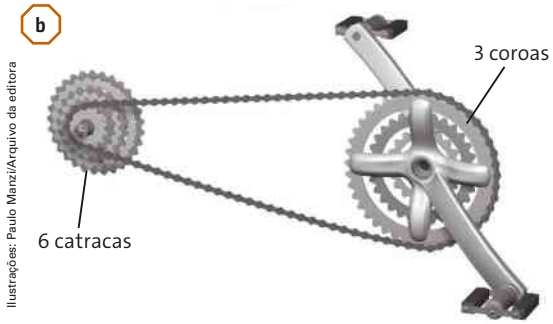
Figura a Representação, sem escala e em cores fantasia, da coroa e da catraca em uma bicicleta.

A catraca é menor do que a coroa. Por isso, quando o ciclista pedala, a coroa dá certo número de voltas, mas a catraca dá um número de voltas maior – e esse mesmo número de voltas é dado pela roda traseira, já que esta é acoplada à catraca.

Como exemplo, vamos supor que a coroa tenha 60 dentes, e a catraca, 20 dentes. Levando em conta que o raio da engrenagem é proporcional ao número de dentes, obtemos: $R_1 = 3 \cdot R_2$. Assim, para cada volta completa da coroa, teremos 3 voltas completas da catraca e, consequentemente, 3 voltas completas da roda traseira.

Nas bicicletas com marchas, o ciclista dispõe de várias combinações, mudando o tamanho das engrenagens de acordo com a conveniência de cada trecho (**figura b**). A combinação "coroa maior que catraca" é utilizada quando o ciclista quer obter maior velocidade. Ao usar essa combinação, ele transmite (mesmo sem saber) maior velocidade angular à roda traseira e, desse modo, consegue o seu objetivo, pois a velocidade da bicicleta em relação ao solo é diretamente proporcional à velocidade angular da roda.

b



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

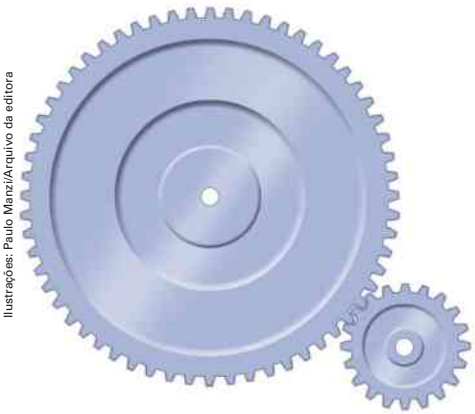
Figura b As marchas de uma bicicleta são dadas por combinações de catracas e coroas de diferentes tamanhos. Representação sem escala e em cores fantasia.

Por outro lado, com a combinação "coroa menor que catraca", o ciclista visa transmitir maior força à roda traseira: ele gira o pedal rapidamente, mas a bicicleta desloca-se lentamente. Essa é a combinação utilizada na subida de uma ladeira.

1. Se um ciclista pretende que, a cada pedalada, a roda traseira dê duas voltas, qual deve ser a relação entre a coroa e a catraca?
2. Qual a vantagem de uma bicicleta moderna (com marchas) em relação a uma bicicleta mais antiga, que possua uma única catraca e uma única coroa?

Exercícios

12. Na figura abaixo, temos o acoplamento de duas engrenagens dentadas, sendo a engrenagem menor composta de 20 dentes e a maior, de 60 dentes. Sabendo-se que o raio de cada engrenagem é diretamente proporcional ao número de dentes, responda:



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

a) Se a engrenagem maior girar no sentido horário, em qual sentido girará a engrenagem menor: horário ou anti-horário? Anti-horário.

b) Para cada volta da engrenagem maior, quantas voltas efetua a engrenagem menor? Justifique. Três voltas.

13. A maioria das provas de automobilismo da Fórmula Indy é disputada em um tipo de circuito chamado **circuito oval**. Ano após ano, os aperfeiçoamentos técnicos vêm propiciando o aumento da velocidade dos carros. Entretanto, há uma limitação biológica: se o piloto ficar sujeito a uma aceleração maior do que 6 vezes a aceleração da gravidade, ele corre sério risco de desmaiar ou sofrer danos vasculares. Considere um carro percorrendo, com velocidade constante em módulo, a pista ilustrada (sem escala e em cores fantasia) na figura a seguir.



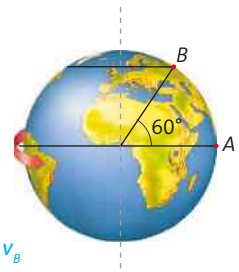
Essa pista é constituída por duas semicircunferências e dois segmentos de reta. Na linha ao longo da qual se move o veículo, os raios dos trechos circulares são iguais e valem 240 m. Considerando a limitação biológica do piloto, qual é a velocidade máxima que pode ser desenvolvida no trecho circular? $v = 120$ m/s

14. Na maioria dos carros, o velocímetro recebe as informações da caixa de câmbio, e a velocidade é indicada com base no número de voltas da roda em relação à transmissão. Na realidade, o velocímetro mede a velocidade angular do eixo da roda e indica um valor que corresponde à velocidade do carro. A substituição de rodas e pneus por outros, com diâmetros diferentes, pode comprometer essa medição. Suponha que um carro tenha saído da fábrica com rodas de 20 polegadas e que o motorista tenha resolvido trocar as rodas e os pneus do carro por um conjunto de 22 polegadas (1 polegada = 2,54 cm). (Observação: Os técnicos não recomendam a troca de rodas e pneus, porque a recalibragem do velocímetro é tarefa difícil.)

a) A indicação do velocímetro do carro será maior ou menor do que a real? Menor.

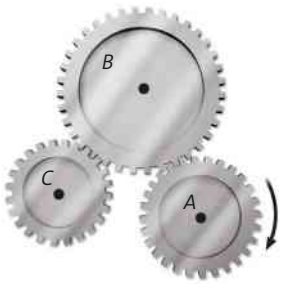
b) Se o velocímetro estiver indicando 100 km/h, qual é a velocidade real do carro? $v_R = 110$ km/h

15. Considere a Terra perfeitamente esférica, com raio de 6400 km. Duas pessoas, *A* e *B*, paradas em relação à superfície do planeta, estão no mesmo meridiano, mas em latitudes diferentes, conforme indica a figura a seguir (sem escala e em cores fantasia). A pessoa *A* está sobre a linha do equador (latitude 0°), e a latitude da pessoa *B* é 60°.



Analisando o movimento de rotação da Terra, responda: qual das duas pessoas, *A* ou *B*, possui maior velocidade angular? E velocidade escalar? $\omega_A = \omega_B$ e $v_A > v_B$

16. Considere três engrenagens acopladas conforme mostra a figura a seguir (sem escala e em cores fantasia). A engrenagem *A* possui 50 cm de diâmetro, a *B* tem 100 cm, e a *C*, 20 cm. De acordo com a figura, a engrenagem *A* gira no sentido horário.



a) Qual é o sentido de rotação da engrenagem *C*? Horário.

b) Se a engrenagem *A* efetua 10 rotações por segundo, quantas rotações por segundo efetua a engrenagem *B*? E a engrenagem *C*? 5 rps e 25 rps

6 Lançamento de corpos (projéteis)

Veja comentários sobre este tópico no Manual do Professor.

Neste tópico vamos tratar somente do lançamento de corpos próximos à superfície da Terra, com velocidades relativamente baixas, de tal maneira que eles descrevam uma trajetória parabólica até atingir o solo; esse estudo também é conhecido como **lançamento de projéteis**.

Hoje, com o conhecimento e os equipamentos de que dispomos, podemos afirmar que, desprezando-se a resistência do ar, os corpos que se movimentam próximos à superfície da Terra, sem contato com o solo, apresentam algo em comum: todos se movimentam com a mesma aceleração – a aceleração da gravidade.

Lançamento oblíquo

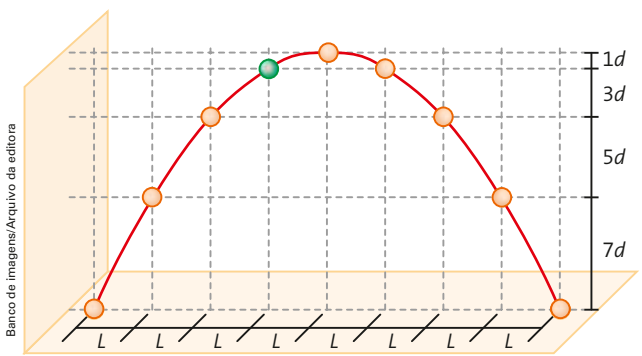
Na **figura 4.38**, vemos um bebedouro jorrando água com uma velocidade $\vec{v}_0$ que forma um ângulo θ com a horizontal. As trajetórias das várias partículas que compõem o jato de água podem facilmente ser visualizadas pela continuidade do fluxo que se estabelece no ar.



Kris Schmidt/Shutterstock

Figura 4.38 Em um jato de água, evidencia-se a trajetória curvilínea das partículas lançadas obliquamente.

Para o estudo desse movimento, vamos aplicar o princípio da simultaneidade de Galileu: "O movimento de um corpo pode ser o resultado da composição de outros movimentos realizados simultaneamente". Nessa perspectiva, podemos entender esse movimento da seguinte maneira: enquanto cada gota (ou corpo, ou projétil) sobe e desce verticalmente, em movimento acelerado, ela se desloca horizontalmente em movimento uniforme (velocidade constante), como esquematizado na **figura 4.39**.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 4.39 No lançamento oblíquo, o movimento dos corpos é parabólico.

Assim, o movimento parabólico pode ser representado por dois movimentos: um movimento retilíneo e uniforme, na horizontal, e um movimento uniformemente variado na vertical, retardado na subida e acelerado na descida.

Para isso, o primeiro passo é decompor a velocidade $\vec{v}_0$ de lançamento, que forma um ângulo θ com a horizontal, nas duas direções, horizontal e vertical, perpendiculares entre si. Esse procedimento está ilustrado na **figura 4.40**.

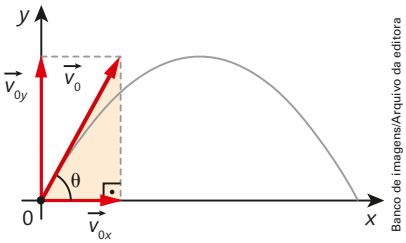


Figura 4.40 Decomposição vetorial da velocidade de um corpo lançado obliquamente, mostrando as componentes vertical e horizontal.

Com base no triângulo retângulo em destaque nessa figura, escrevemos:

$$\begin{cases} \cos\theta = \dfrac{v_{0x}}{v_0} \Rightarrow v_{0x} = v_0 \cdot \cos\theta \\ \operatorname{sen}\theta = \dfrac{v_{0y}}{v_0} \Rightarrow v_{0y} = v_0 \cdot \operatorname{sen}\theta \end{cases}$$

Na **direção horizontal** (*Ox*), o movimento é retilíneo e uniforme; a velocidade $\vec{v}_{0x}$ é constante. Assim, o corpo apresenta deslocamentos iguais em intervalos de tempo iguais. Nessa direção, a função horária do espaço é dada por:

$$x = v_0 \cdot \cos\theta \cdot t$$

Na **direção vertical** (*Oy*), o módulo da velocidade vertical ($\vec{v}_{0y}$) diminui uniformemente até se tornar nulo, o que acontece no ponto de altura máxima. Em seguida, aumenta uniformemente até a partícula atingir o solo. Portanto, na vertical temos um movimento retilíneo uniformemente **retardado**, do lançamento até o ponto de altura máxima, e **acelerado**, do ponto de altura máxima até o solo. Em intervalos de tempo iguais, medidos a partir do instante em que a partícula inicia o movimento, os deslocamentos obedecem às proporções de Galileu, isto é, eles são proporcionais aos números ímpares (1*d*, 3*d*, 5*d*, 7*d*, ...), conforme mostra a **figura 4.39**.

Nessa direção, as funções horárias do espaço e da velocidade são as mesmas vistas no Capítulo 3, quando estudamos o movimento acelerado, aplicadas à situação que abordamos agora:

$$S = S_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \Rightarrow y = y_0 + v_{0y} \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2}$$

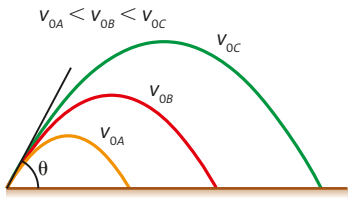
$$v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow v_y = v_0 \cdot \operatorname{sen}\theta + g \cdot t$$

Vamos enfatizar algumas conclusões importantes:

1. Se o corpo (projétil) retornar à mesma horizontal do lançamento, o movimento é simétrico em relação ao ponto de altura máxima (reveja a **figura 4.39**). Isso significa que o tempo de descida é igual ao de subida, e que o tempo total (tempo de permanência no ar) é a soma dos tempos de subida e de descida ($t_T = t_S + t_D$).
2. No ponto de altura máxima atingida pelo projétil, somente a velocidade vertical é nula ($v_y = 0$). Nesse ponto, o corpo tem velocidade horizontal, pois esta é constante durante todo o movimento.
3. O alcance do projétil corresponde à coordenada *x* que a partícula atingiu ao retornar ao solo. Essa coordenada é obtida com base no movimento retilíneo e uniforme que o projétil realiza na horizontal: $A = x = v_0 \cdot \cos\theta \cdot t_T$

4. Para um mesmo ângulo de lançamento (ou ângulo de tiro), quanto maior for a velocidade de lançamento, maior será o alcance. A **figura 4.41** ilustra o alcance de vários lançamentos, todos efetuados sob um mesmo ângulo, porém com velocidades crescentes.
5. Se os lançamentos forem feitos com a mesma velocidade, porém sob ângulos diferentes, o alcance será o mesmo para dois lançamentos em que os ângulos de disparo sejam complementares (ângulos cuja soma é igual a 90°), conforme mostra a **figura 4.42**.
6. Para uma determinada velocidade, o alcance máximo será obtido quando o ângulo de lançamento for de 45°. Pode-se demonstrar que o alcance máximo é dado por:

$$A_{máx} = \frac{v_0^2}{g}$$



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 4.41 Variação do alcance em função da velocidade de lançamento.

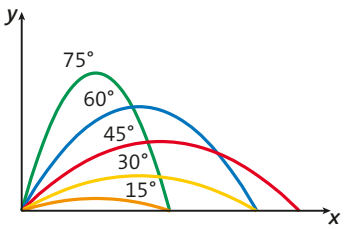
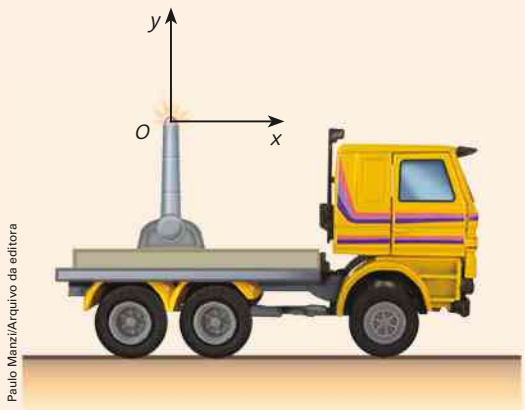


Figura 4.42 Variação do alcance em função do ângulo de lançamento.

Exercício resolvido

1. Na figura a seguir, temos a ilustração (sem escala e em cores fantasia) de um dispositivo vertical que lança bolas, montado na carroceria de um caminhão.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Com o caminhão deslocando-se em movimento retilíneo e horizontal com velocidade constante de 20 m/s, uma bola é lançada verticalmente com velocidade de 10 m/s, em relação ao caminhão. A origem do sistema de coordenadas coincide com o ponto de lançamento da bola. Despreze a resistência do ar e considere $g = 10\ m/s^2$. Nessas condições, responda:

a) Qual é a trajetória da bola em relação ao caminhão? E em relação ao solo?

b) Qual é a altura máxima atingida pela bola em relação à origem do sistema de coordenadas?

c) Em relação ao solo, qual é a distância percorrida pelo dispositivo até o retorno da bola?

Resolução:

a) Em relação ao caminhão, a bola descreve uma trajetória retilínea (subida e descida) e, em relação ao solo, a trajetória é parabólica.

b) O tempo de subida da bola é obtido na função horária da velocidade vertical. Lembrando que no ponto de altura máxima a velocidade vertical é nula. Assim, temos:

$$v_y = v_{0y} + g \cdot t \Rightarrow 0 = 10 + (-10) \cdot t_s \Rightarrow t_s = 1{,}0\ s$$

E a altura máxima atingida pelo projétil em relação ao ponto de lançamento é dada por:

$$y = y_0 + v_{0y} \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y_{máx} = 0 + 10 \cdot 1{,}0 + \frac{(-10) \cdot (1{,}0)^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y_{máx} = 5{,}0\ m$$

c) Em relação ao solo, a bola e o dispositivo estão sempre acompanhando um ao outro, pois ambos se movimentam com a mesma velocidade constante (v_x) de 20 m/s. Assim, a distância percorrida pelo dispositivo é exatamente o alcance da bola. Como o tempo de subida da bola é 1,0 s, o tempo de permanência no ar é 2,0 s. Nesse intervalo de tempo, a distância horizontal percorrida pela bola e pelo dispositivo é:

$$x = v_x \cdot t \Rightarrow x = 20 \cdot 2{,}0 \Rightarrow x = 40\ m$$

Parábola de segurança

Ao efetuarmos vários lançamentos, todos com a mesma velocidade inicial $\vec{v}_0$, mas com diferentes ângulos, devemos ter em mente que:

- se o objetivo é conseguir a maior altura possível, o lançamento deve ser feito verticalmente; nessas condições, a altura máxima é dada por:

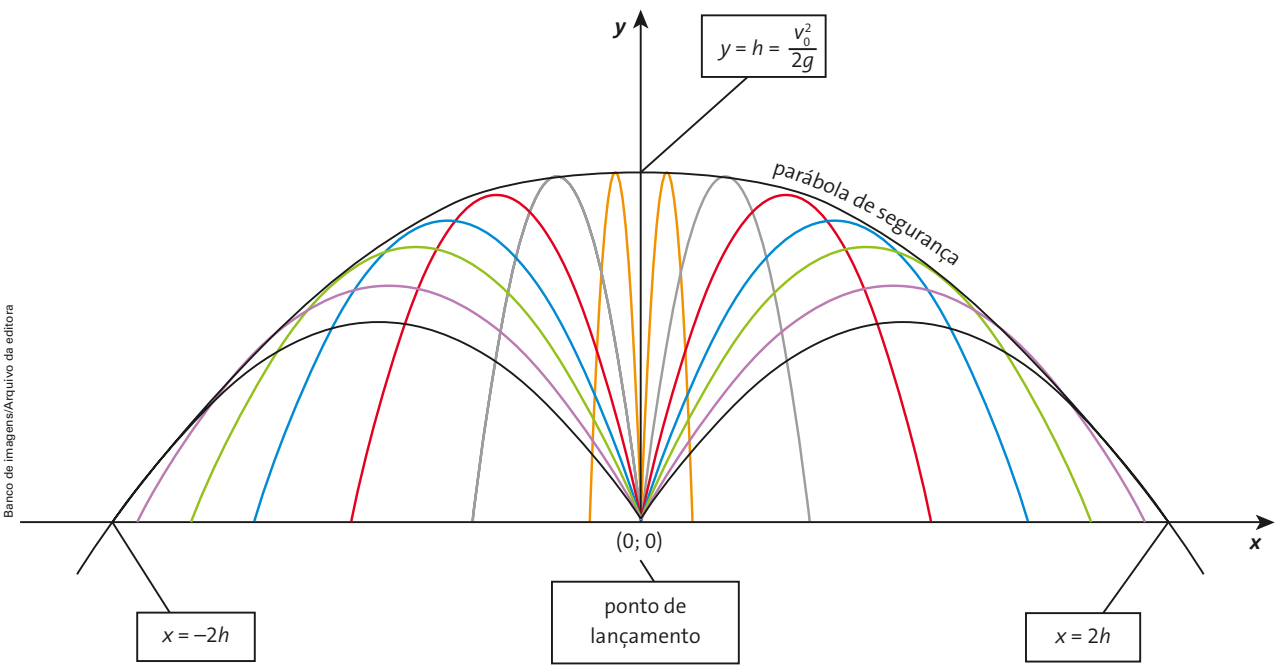
$$h_{máx} = \frac{v_0^2}{2g}$$

- se o objetivo é conseguir o maior alcance possível, o lançamento deve ser feito a um ângulo de 45°; nesse caso, o alcance máximo é dado por:

$$A_{máx} = \frac{v_0^2}{g}$$

Comparando as duas expressões, obtemos: $A_{máx} = 2 \cdot h_{máx}$.

Isso nos permite afirmar que todos os lançamentos com a mesma velocidade inicial ficarão restritos a uma região delimitada por uma parábola, denominada **parábola de segurança**, que pode ser construída com três pontos fundamentais a seguir, conforme mostra a figura 4.43.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 4.43 Parábola de segurança.

- o ponto de altura máxima (h) para um disparo vertical;
- o ponto de alcance máximo ($-2h$) à esquerda do ponto de disparo, na mesma horizontal;
- o ponto de alcance máximo ($2h$) à direita do ponto de disparo, na mesma horizontal.

As coordenadas de qualquer ponto de uma parábola obedecem às condições: $|x| \leqslant 2 \cdot h$ e $y \leqslant h$.

Lançamento horizontal

A **figura 4.44** ilustra um avião de carga, com velocidade constante em módulo, sendo usado para prestar socorro a um barco que se encontra parado em alto-mar. Nessa operação, uma pessoa dentro do avião abandona um pacote, que cai bem próximo do barco.

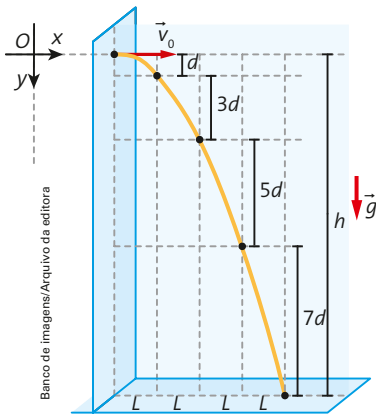


Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 4.44 Representação (sem escala e em cores fantasia) do lançamento de um pacote de um avião em voo.

Para essa pessoa dentro do avião, o pacote cai verticalmente, pois, na horizontal, o pacote possui a mesma velocidade do avião (desprezando-se a resistência do ar).

Mas qual será a trajetória do pacote para uma pessoa que esteja no barco? Em relação à superfície do mar, a trajetória do pacote é parabólica e obedece às condições indicadas na **figura 4.45**.

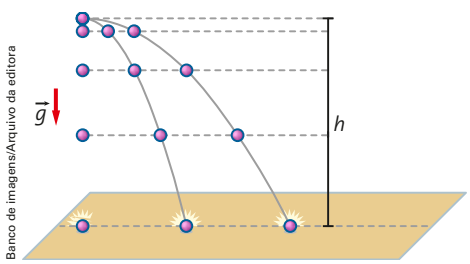


Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 4.45 Na direção horizontal o movimento é uniforme; na direção vertical o movimento é uniformemente acelerado.

Observe que essa curva corresponde exatamente ao trecho que, no lançamento oblíquo, vai do ponto de altura máxima ao solo.

Levando em conta que o movimento vertical do corpo é independente do movimento horizontal, o tempo que um corpo leva para atingir o solo não depende da velocidade horizontal de lançamento. Assim, um corpo abandonado de determinada altura chega ao solo junto com outro corpo lançado horizontalmente do mesmo ponto e no mesmo instante. A **figura 4.46** ilustra três corpos nessa situação.



Banco de imagens/Arquivo da editora

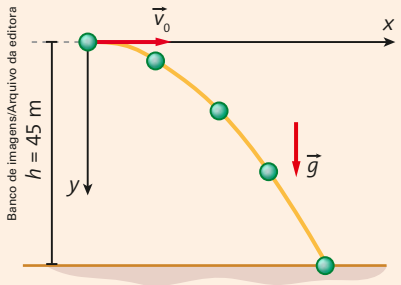
Figura 4.46 Corpos situados à mesma altura, quando lançados horizontalmente ou abandonados, simultaneamente, chegam ao solo no mesmo instante.

Exercício resolvido

2. Um corpo é lançado horizontalmente com velocidade de 15 m/s de um prédio de 45 m de altura. Adotando $g = 10\ m/s^2$ e desprezando a resistência do ar, determine o ponto em que o corpo atinge o solo.

Resolução:

A figura a seguir ilustra o movimento do corpo, desde o lançamento até atingir o solo, com os respectivos referenciais para os movimentos horizontal e vertical.



Inicialmente, precisamos determinar o tempo de queda do corpo. Na vertical, temos um movimento acelerado uniformemente, a partir do repouso ($v_{0y} = 0$). Aplicando a função horária desse movimento de acordo com o referencial adotado, obtemos:

$$y = y_0 + v_{0y} \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 45 = 0 + 0 + \frac{10 \cdot t^2}{2} \Rightarrow t = 3{,}0\ s$$

Nesses 3,0 s de queda, o corpo percorre na horizontal, com velocidade constante $v_{0x} = 15$ m/s, uma distância dada por:

$x = v_{0x} \cdot t$

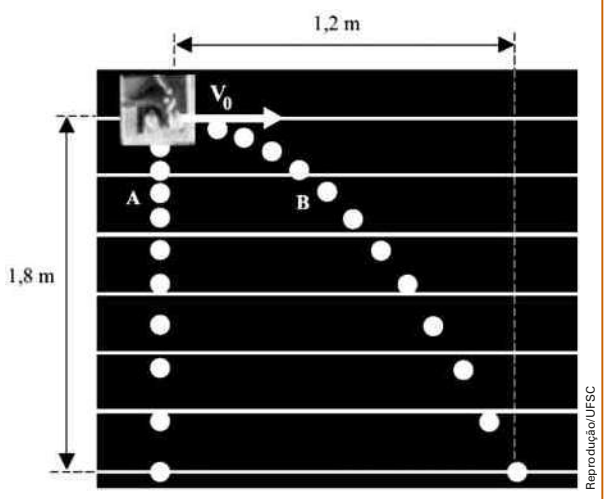
$x = 15 \cdot 3{,}0 \Rightarrow x = 45$ m

Portanto, o corpo atinge o solo a 45 m da vertical que passa pelo ponto de lançamento.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Exercícios

17. (UFTM-MG) A figura mostra uma série de fotografias **estroboscópicas** de duas esferas, *A* e *B*, de massas diferentes. A esfera *A* foi abandonada em queda livre e, no mesmo instante, a esfera *B* foi lançada horizontalmente com velocidade inicial V_0.



Reprodução/UFSC

Considere as medidas indicadas na figura, a resistência do ar desprezível e $g = 10$ m/s. Nessas condições, o módulo de V_0, em m/s, é:

a) 2,4.
b) 1,8.
c) 1,6.
X d) 2,0.
e) 2,2.

Estroboscopia – Registro de objetos móveis obtido com o uso do estroboscópio – aparelho que ilumina de modo intermitente um objeto.

18. Se um jogador de golfe lançar uma bola com velocidade inicial de 30 m/s e a 35° em relação à horizontal, ele conseguirá vencer um obstáculo de 80 m de extensão? Considere sen 35° = 0,57; cos 35° = 0,82 e $g = 10\ m/s^2$. Conseguirá vencer.

19. Uma unidade de combate a incêndio está a 120 m de um edifício. Existe um foco de chamas a, aproximadamente, 35 m de altura em relação à mangueira do caminhão, no 12º andar. O jato de água sai da mangueira com velocidade de 40 m/s, formando um ângulo de 53° com a horizontal. Despreze a resistência do ar e considere $g = 10\ m/s^2$. (sen 53° = 0,80; cos 53° = 0,60)



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Representação (sem escala e em cores fantasia) do jato de água atingindo o foco de incêndio.

No seu caderno, trace, em escala, a parábola de segurança e verifique se o jato de água tem condições de atingir o foco das chamas.

Veja resposta no Manual do Professor.

Em construção

Veja comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

Stevin e Varignon e o paralelogramo de forças

Ao longo da história da Física, muitos homens das Ciências Naturais e da Matemática se dedicaram ao estudo da composição vetorial. Vamos destacar o engenheiro, físico e matemático belga Simon Stevinus (Stevin) e o matemático francês Pierre Varignon.

Stevin nasceu em 1548 na cidade de Bruges e faleceu em 1620 na cidade de Haia. Com 35 anos de idade, Stevin iniciou seu curso universitário na Universidade de Leyden e, ao se graduar, foi contratado como professor de Matemática. Em 1593, foi indicado por Maurício de Nassau para o posto de engenheiro militar no exército holandês.



Corbis/Latinstock

Retrato de Simon Stevinus (Stevin) (1548-1620).

Parte de sua vida foi dedicada ao estudo da estática, com a publicação de três livros: *Princípios de estática*, *Aplicações de estática* e *Princípios de hidrostática*. Naquele que foi considerado seu principal livro – *Princípios de estática* – Stevin deu continuidade ao trabalho de Arquimedes, de dezoito séculos antes, com o estudo das alavancas, do centro de gravidade dos corpos e do comportamento dos corpos em planos inclinados, onde enunciou sua importante descoberta: a lei do plano inclinado. Esses resultados constituem os fundamentos do que hoje conhecemos como o "paralelogramo de forças".

Stevin deu também uma importante contribuição para a hidrostática – equilíbrio de líquidos – com o estudo da variação de pressão com a profundidade em líquidos, que ficou conhecida como "lei de Stevin".

Pierre Varignon (1654-1722), matemático e físico francês, foi educado no Colégio Jesuíta e completou seus estudos na Universidade de Caen, em 1682, e no ano seguinte ordenou-se padre. Em 1688, tornou-se professor de Matemática no Colégio Mazarin e, em 1704, no Colégio Royal, ambos em Paris. Em 1688, foi eleito para a Academia Francesa de Ciências; em 1713, para a Academia de Berlim de Ciências; e em 1718, para a Sociedade Real de Londres.



Reprodução/Biblioteca do Instituto Smithsonian, Washington, Estados Unidos.

Retrato de Pierre Varignon (1654-1722).

O interesse de Varignon pela Matemática foi despertado com a leitura de *Os elementos*, de Euclides, e de *A Geometria*, de Descartes. Após um período de dedicação, por conta própria, aos estudos matemáticos, apresentou à Academia Francesa de Ciências, em 1687, o trabalho denominado *Projeto de uma nova Mecânica*, no qual discute a composição de forças, aplicando o cálculo diferencial de Leibniz ao estudo da Mecânica. Nesse trabalho, encontra-se o importante princípio do equilíbrio de um corpo sob a ação de forças concorrentes.

> Varignon usou a regra geométrica sobre composição de forças – o célebre **paralelogramo das forças** – [...] ele a obteve usando uma espécie de máquina simples que idealizou e construiu: o **funicular**. Ainda nesse trabalho, Varignon apresentou a demonstração do hoje famoso **teorema de Varignon**, no qual associa o momento da força resultante com os momentos das forças componentes [...].
>
> BASSALO, José M. F. *Nascimento da Física:* 3500 a.C.-1900 a.D. Belém: Ed. da UFPA, 1996.

- Pesquise a explicação da "lei do plano inclinado". Sugestão: consulte o livro de Colin A. Ronan, *História ilustrada da Ciência*: Da Renascença à Revolução Científica (v. III), p. 37.
- Pesquise o "teorema de Varignon" e faça uma analogia com a "lei das alavancas", vista no Capítulo 1 deste volume.

Experimento

Veja comentários sobre esta seção e as respostas das atividades no Manual do Professor. Nele você também encontra um experimento adicional sobre o mesmo assunto.

Construção da trajetória parabólica de um projétil

Nesta atividade, você terá a oportunidade de aplicar seus conhecimentos e habilidades na construção da trajetória parabólica de um projétil e, com base nela, determinar as características numéricas do movimento: tempo de subida, tempo de voo, altura máxima atingida pelo projétil, alcance, velocidade de lançamento e ângulo de lançamento.

O ponto de partida é o vértice da parábola (ponto de altura máxima do projétil). Se a partir desse ponto considerarmos somente o movimento vertical, o projétil cai, percorrendo distâncias cada vez maiores, na proporção dos números ímpares consecutivos ($1d$, $3d$, $5d$, ...) para intervalos de tempo iguais (d é a distância que ele percorre caindo, no primeiro intervalo de tempo). Lembre-se de que, na vertical, o movimento do projétil é uniformemente variado. A velocidade diminui uniformemente na subida e aumenta uniformemente na descida.

Em relação à horizontal, a distância percorrida em cada intervalo de tempo é sempre a mesma, pois a velocidade horizontal do projétil é constante.

A construção da trajetória parabólica será feita utilizando-se uma figura semelhante à mostrada a seguir, na qual o ponto A representa o vértice da trajetória parabólica, e os pontos B_1 e B_2, duas posições simétricas (uma na subida e outra na descida) que correspondem cada uma a um intervalo de tempo de 1,0 s.

Com base nessas informações, copie em seu caderno e complete a figura dada, marcando as posições simétricas ocupadas pelo projétil (uma na subida e outra na descida), considerando sempre intervalos de tempo iguais a 1,0 s. Feito isso, trace a curva descrita pelo projétil até o solo e responda às questões propostas, utilizando a escala dada na figura.



1. Quais são, em segundos, o tempo de subida, o tempo de descida e o tempo de voo do projétil?
2. Qual é a altura máxima atingida pelo projétil?
3. Qual é o alcance do projétil?
4. Determine os componentes da velocidade do projétil na horizontal e na vertical no instante em que ele atinge o solo.
5. Com que velocidade o projétil atinge o solo? E com que velocidade ele foi lançado do solo?
6. Qual é o ângulo de lançamento desse projétil?

Retomando

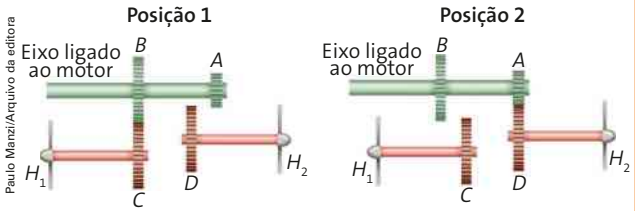
20. Cientistas do mundo inteiro reunidos na fronteira entre a Suíça e a França celebraram ontem a entrada em operação do superacelerador de partículas que promete desvendar grandes segredos do Universo, como a origem da massa e a misteriosa matéria escura. Depois de 14 anos de construção e pesquisa e um investimento de quase US$ 10 bilhões, o primeiro acionamento do superacelerador LHC (Grande Colisor de Hádrons, na sigla em inglês) foi considerado um sucesso. [...]
Um clima de tensão e enorme expectativa antecedeu o primeiro teste, quando, pontualmente às 9h30 (4h30 de Brasília), o primeiro feixe de prótons (núcleos de átomos de hidrogênio) foi lançado no sentido horário, quase à velocidade da luz, pelo anel de 27 quilômetros do LHC. [...]

NINIO, Marcelo. *Folha de S.Paulo*, 11 set. 2008. Ciência. Disponível em: <www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe1109200801.htm>. Acesso em: 1º out. 2015.

Sabendo-se que os prótons efetuam aproximadamente 11 mil voltas por segundo e que a velocidade da luz é 300 000 km/s, é possível afirmar que a razão entre a velocidade dos prótons e a da luz é:

a) 85%. c) 95%. e) 101%.
b) 90%. x d) 99%.

21. (Vunesp) A figura representa, de forma simplificada, parte de um sistema de engrenagens que tem a função de fazer girar duas hélices, H_1 e H_2. Um eixo ligado a um motor gira com velocidade angular constante e nele estão presas duas engrenagens, *A* e *B*. Esse eixo pode se movimentar horizontalmente assumindo a posição 1 ou 2. Na posição 1, a engrenagem *B* acopla-se à engrenagem *C* e, na posição 2, a engrenagem *A* acopla-se à engrenagem *D*. Com as engrenagens *B* e *C* acopladas, a hélice H_1 gira com velocidade angular constante ω_1 e, com as engrenagens *A* e *D* acopladas, a hélice H_2 gira com velocidade angular constante ω_2.

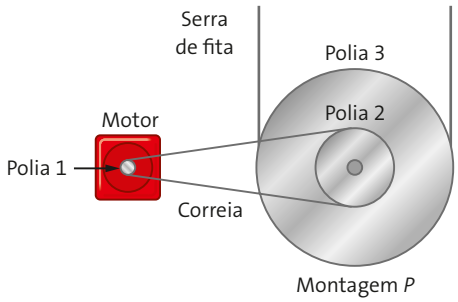


Paulo Manzi/Arquivo da editora

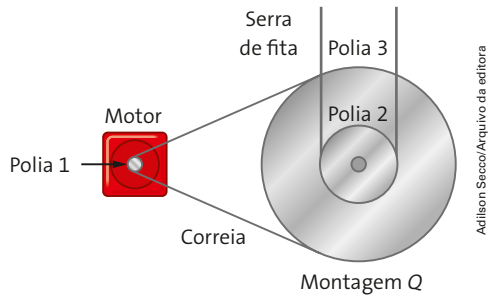
Considere r_A, r_B, r_C e r_D os raios das engrenagens *A*, *B*, *C* e *D*, respectivamente. Sabendo que $r_B = 2 \cdot r_A$ e que $r_C = r_D$, é correto afirmar que a relação $\frac{\omega_1}{\omega_2}$ é igual a:

a) 1,0. c) 0,5. e) 2,2.
b) 0,2. x d) 2,0.

22. (Enem) Para serrar ossos e carnes congeladas, um açougueiro utiliza uma serra de fita que possui três polias e um motor. O equipamento pode ser montado de duas formas diferentes, *P* e *Q*. Por questão de segurança, é necessário que a serra possua menor velocidade linear.



Montagem *P*



Adilson Secco/Arquivo da editora
Montagem *Q*

Por qual montagem o açougueiro deve optar e qual a justificativa desta opção?

x a) *Q*, pois as polias 1 e 3 giram com velocidades lineares iguais em pontos periféricos e a que tiver maior raio terá menor frequência.

b) *Q*, pois as polias 1 e 3 giram com frequências iguais e a que tiver maior raio terá menor velocidade linear em um ponto periférico.

c) *P*, pois as polias 2 e 3 giram com frequências diferentes e a que tiver maior raio terá menor velocidade linear em um ponto periférico.

d) *P*, pois as polias 1 e 2 giram com diferentes velocidades lineares em pontos periféricos e a que tiver menor raio terá maior frequência.

e) *Q*, pois as polias 2 e 3 giram com diferentes velocidades lineares em pontos periféricos e a que tiver maior raio terá menor frequência.

CAPÍTULO 5

As leis de Newton para os movimentos

Veja orientações de encaminhamento para esta abertura no Manual do Professor.

Renato Soares/Pulsar Imagens



Roda-d'água no Parque São Lourenço, Curitiba (PR), 2012.

O que é necessário para colocar a roda-d'água em movimento?
O que é preciso para manter a roda-d'água em movimento?
Em 1687, com a publicação dos *Princípios matemáticos da Filosofia natural*, Isaac Newton estabeleceu as três leis do movimento – leis de Newton – sobre as quais se apoia a Mecânica clássica, ou a Mecânica newtoniana.
As leis de Newton podem ser consideradas uma "descoberta" das leis da natureza ou uma "construção humana" de uma visão da Ciência?

Veja comentários e respostas desta seção no Manual do Professor.

De Aristóteles a Newton

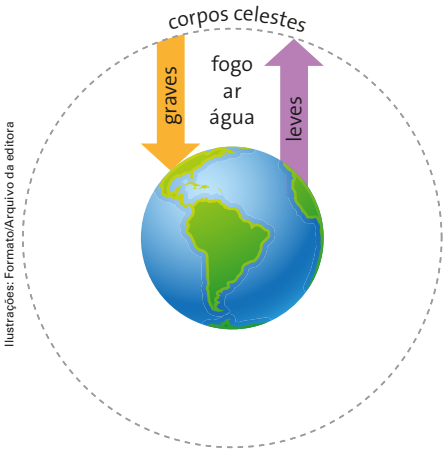
No século IV a.C., na Grécia antiga, Aristóteles ensinava a seus discípulos que a Terra, imóvel, ocupava o centro do Universo e este seria finito, constituído por duas regiões, inteiramente distintas. A primeira, denominada **região sublunar** (abaixo da Lua), seria formada pelos quatro elementos (terra, água, ar e fogo) propostos por Empédocles de Agrigento (filósofo grego que viveu no século V a.C.). A segunda, denominada **região supralunar**, seria constituída por um quinto elemento – o **éter**. Para Aristóteles existiam nessa região cascas esféricas, nas quais ocorria o movimento dos planetas, sendo a última casca a esfera das estrelas. Por considerá-la uma região perfeita e imutável, ele defendia que o único movimento possível ali seria o movimento circular e uniforme, uma vez que o círculo era visto pelos gregos como a forma perfeita.

Éter – Espécie de fluido "sutil", mais rarefeito que o ar, presente em todos os espaços do Universo.

Na Física de Aristóteles, os movimentos na região sublunar eram classificados em **naturais** (causas internas) e **violentos** (causas externas). Em relação aos movimentos naturais, Aristóteles afirmava que cada objeto tem seu lugar próprio e, quando fora desse lugar, ele busca atingi-lo. Assim, os movimentos dos corpos terrestres ocorreriam segundo uma "tendência natural": os corpos graves (pesados), como a terra e a água, tenderiam a dirigir-se para o centro da Terra, e os corpos leves, como o ar e o fogo, a afastar-se dele. Então, se uma pedra solta de determinada altura cai e as labaredas de uma fogueira sobem, tais movimentos aconteceriam porque os corpos estariam buscando o seu lugar natural no Universo: o lugar natural da pedra seria a terra, e o do fogo, o céu.

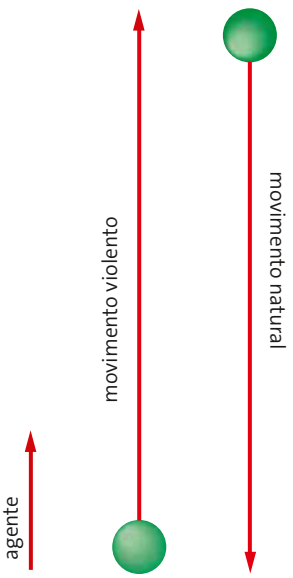
Para explicar a queda de uma pena ou de uma folha, Aristóteles considerava que esses corpos eram formados por misturas dos elementos terra e ar, com mais terra do que ar. Esse seria o motivo de tais corpos caírem mais lentamente do que um corpo só de terra, como uma pedra. Aristóteles defendia que os corpos mais pesados caem mais rapidamente que os mais leves.

Em relação aos movimentos violentos – aqueles provocados por causas externas –, Aristóteles afirmava que, assim que a ação fosse esgotada, o corpo voltaria ao seu lugar natural. Essa seria a explicação para o que acontece quando atiramos uma pedra verticalmente para cima: ela sobe até que a ação inicial se esgote e, em seguida, cai, buscando o seu lugar natural, na terra.



Ilustrações: Formato/Arquivo da editora

Representação (sem escala e em cores fantasia) da tendência natural do movimento dos corpos no mundo sublunar proposto por Aristóteles.



Representação da classificação aristotélica dos movimentos.

Renascimento

A partir do século XV, lentamente a Física aristotélica começou a sofrer os primeiros questionamentos. O século XVI marcou o início da revolução científica na Física. Trabalhos como o do monge polonês Nicolau Copérnico (1473-1543), que em 1543 destituiu a Terra da condição de centro do Universo, e do físico e matemático italiano Galileu Galilei (1564-1642), com experimentos sobre a queda dos corpos, colocaram em xeque a doutrina aristotélica.

O conceito de **inércia** – tendência que os corpos têm de manter o seu estado de movimento ou de repouso –, que posteriormente viria a se tornar um dos pilares da Mecânica de Isaac Newton, teve com René Descartes (1596-1650) uma das primeiras formulações corretas. O princípio da inércia também estava presente na teoria do movimento de Galileu. As "tendências naturais" de Aristóteles gradativamente iam dando lugar a uma nova visão, baseada no conceito de **força**: a tendência à conservação da velocidade dos corpos enquanto eles não sofrem a ação de uma força externa.



Toni Schneiders/Interfoto/Latinstock

Retrato de Johannes Kepler (1571-1630).

Na mesma época em que Galileu realizava seus experimentos, Johannes Kepler, astrônomo alemão, transformou a compreensão do Sistema Solar com o estabelecimento das leis sobre o movimento dos planetas. Com suas observações e com os dados coletados por Tycho Brahe (1546-1601), Kepler demonstrou que as órbitas dos planetas são elípticas, e não circulares. Além disso, provou que a Terra, assim como os demais planetas, gira em torno do Sol. Na década de 1620, as leis de Kepler sobre o movimento dos planetas em torno do Sol e as conclusões de Galileu sobre corpos em queda representavam o ápice do conhecimento sobre Astronomia e Física da época.

Pouco mais de cinquenta anos ainda seriam necessários para que as bases da Mecânica dos movimentos ficassem totalmente solidificadas, tal como as conhecemos hoje. Essas explicações vieram em 1687 com a primeira edição dos *Princípios matemáticos da Filosofia natural* de Newton, divididos em três volumes. Nos dois primeiros, Newton explica o movimento dos corpos no vácuo e nos meios resistivos (ar e água); no terceiro, Newton apresenta a sua visão do sistema do mundo: as mesmas leis que descrevem a queda dos corpos aplicam-se ao movimento da Lua em torno da Terra e, também, ao dos planetas em torno do Sol.

1. De acordo com Aristóteles, os movimentos podem ser naturais (causas internas) ou violentos (causas externas). Essa classificação é válida para as duas regiões (sublunar e supralunar) que constituem o Universo aristotélico? Justifique.
2. No texto, a palavra "inércia" é associada à tendência que os corpos têm de manter o seu estado de movimento ou de repouso. Utilize um dicionário para verificar se essa associação está de acordo com a linguagem cotidiana.
3. Em relação aos movimentos, quais são as principais diferenças entre a Física de Aristóteles e a de Newton?

1 Conceito de força

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

Nós temos uma noção intuitiva de **força**. Embora em nosso cotidiano a palavra "força" seja usada com diferentes significados, o nosso conceito primitivo nos leva a associá-la a um puxão ou a um empurrão. Nessa linha de raciocínio, as forças estariam associadas ao contato físico, mas nem sempre isso acontece. Muitas vezes não percebemos que uma força é o resultado da interação entre dois corpos que não estão obrigatoriamente em contato.

As interações entre os corpos podem ocorrer à distância, como no caso dos ímãs, ou quando observamos um corpo abandonado de uma determinada altura cair em direção ao solo. Além disso, se um corpo sofre a ação de uma força, é porque outro corpo a aplicou. As forças não surgem isoladamente em um corpo: elas são resultado da interação entre dois corpos e, portanto, agem simultaneamente em ambos.

Por meio de uma força aplicada a um corpo, podemos:

- alterar o estado de movimento (ou de repouso) desse corpo (figura 5.1);
- produzir uma deformação no corpo (figura 5.2);
- anular a ação de outra força aplicada ao corpo (figura 5.3).

As imagens desta página não estão representadas em proporção.



Ian Walton/Getty Images

Figura 5.1 Uma força pode provocar a alteração do movimento de um corpo, como ocorre nas provas de lançamento do martelo.



Image Source/Getty Images

Figura 5.2 Uma força pode deformar um corpo.



BUILT Images/Alamy/Other Images

Figura 5.3 A força aplicada pela alça equilibra a força peso da bolsa.

Na natureza, é comum um corpo estar sujeito à ação de várias forças simultaneamente. Mas, por motivos práticos, podemos substituir essas forças por uma única, chamada de **força resultante**. Trata-se de uma força hipotética, que produziria o mesmo efeito dinâmico de todas as forças que agem simultaneamente sobre o corpo.

Como as forças são grandezas vetoriais, a determinação da força resultante é feita segundo as regras da adição vetorial. Veja a figura 5.4.

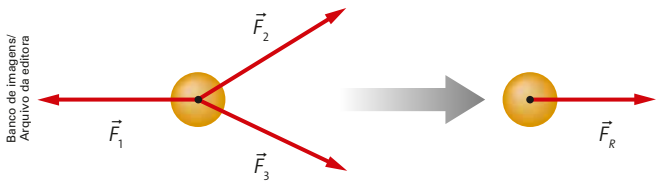


Figura 5.4 A força resultante é equivalente à soma vetorial de todas as forças que agem simultaneamente em um corpo.

Generalizando, quando n forças agem simultaneamente sobre um corpo, a força resultante é dada pela soma vetorial das n forças, ou seja:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n$$

No SI, a unidade de força é o **newton (N)**.

Interações fundamentais

Todas as forças existentes na natureza são decorrentes das três **interações fundamentais**, e a mais familiar a todos nós é a **interação gravitacional**. É esse tipo de interação que mantém a Terra em sua órbita em torno do Sol e nos mantém na superfície da Terra. Resultado da atração entre massas, a interação gravitacional é responsável pela organização do Universo, atuando entre galáxias, estrelas e sistemas planetários. Das três interações fundamentais é a que possui a menor intensidade, mas com certeza é uma das primeiras com a qual temos contato – o nosso peso.

Em segundo lugar, temos a **interação eletrofraca**, da qual a interação eletromagnética é uma manifestação recorrente no cotidiano. Apenas para citar alguns exemplos, a visão funciona mediante **interações eletromagnéticas**, o que também ocorre com todos os aparelhos elétricos e eletrônicos que hoje utilizamos (intensamente) no dia a dia. Mais do que isso: por atuar entre corpos e partículas dotados de carga elétrica, a interação eletromagnética é a responsável pelas ligações entre átomos e moléculas, ou seja, está na base de todas as substâncias.

A **interação fraca** (responsável pela radioatividade e pelo decaimento das partículas nucleares), antes concebida separadamente da eletromagnética, pode ser descrita com essa última na chamada teoria eletrofraca, que deu o prêmio Nobel de Física a Steven Weinberg (1933-) e colaboradores, em 1979.

A terceira interação, chamada de **interação forte**, age em nível subatômico e é a responsável pelas reações nucleares. Em relação a essa interação, podemos dizer que se trata de uma interação com um raio de ação restrito ao núcleo atômico e que atua entre partículas elementares, sendo responsável pela estabilidade dos núcleos atômicos.

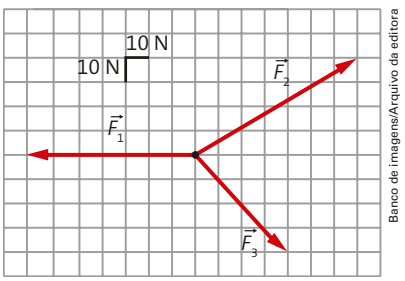
Para termos ideia da intensidade de cada uma dessas forças, podemos estabelecer uma comparação: se atribuirmos à interação gravitacional o valor 1, teremos para a interação forte o valor 10^{37} e para a eletrofraca, o valor 10^{35}. Assim, observamos que a interação forte é, entre as três, a de maior intensidade; em seguida, temos a interação eletrofraca e, finalmente, a interação gravitacional.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Exercícios

1. Explique o significado físico da frase: "Você não pode tocar sem ser tocado!".
Na natureza, as forças agem aos pares, sendo fruto da interação entre dois corpos e atuando simultaneamente em ambos.

2. Qual é a intensidade da força que produzirá no corpo o mesmo efeito dinâmico que as três forças mostradas na figura abaixo? $F = 40$ N



Banco de imagens/Arquivo da editora

3. Durante a queda de um corpo, duas forças agem sobre ele: a atração da Terra e a resistência do ar. Classifique essas duas interações (gravitacional, eletrofraca ou forte) e explique como o corpo interage para cada uma delas.
Gravitacional e eletrofraca. Veja complemento da resposta no Manual do Professor.

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

2 Força peso e força de contato

Dois corpos podem interagir, ou seja, exercer forças um no outro, mutuamente. Algumas interações envolvem contato físico entre os corpos e, nesse caso, são chamadas de **forças de contato**. Há também interações que ocorrem à distância, como acontece, por exemplo, com dois ímãs que se atraem ou se repelem; interações desse tipo são denominadas **forças de campo**. Veremos a seguir que as forças de contato são, na verdade, um conjunto imenso de interações eletromagnéticas.

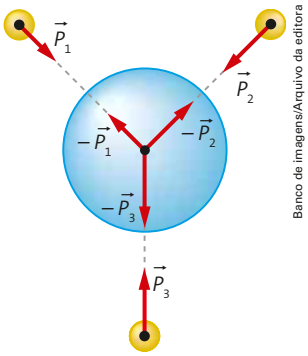
Interação de campo

Você pode constatar a existência de uma força de campo soltando um objeto qualquer de certa altura acima do chão – um lápis, por exemplo. À medida que o lápis cai, sua velocidade aumenta. Esse movimento acelerado de queda resulta da **atração gravitacional** entre a Terra e o lápis.

De modo geral, a força de atração gravitacional entre dois corpos quaisquer depende das massas dos corpos e também da distância entre eles. Para a maioria dos corpos presentes no cotidiano, a intensidade da força de atração gravitacional entre eles é muito pequena. Por exemplo, duas pessoas com 100 kg de massa cada uma, separadas por 1,0 m, atraem-se com uma força de intensidade da ordem de 10^{-6} N (isto é, 0,000001 N). Contudo, quando consideramos a atração entre uma dessas pessoas e a Terra, o resultado passa a ser da ordem de 10^{3} N (ou 1000 N).

A força de atração entre a Terra e um corpo qualquer é denominada peso do corpo (a rigor, **força peso**). A intensidade do peso de um corpo P é obtida pelo produto da massa do corpo m pela aceleração da gravidade g:

$$P = m \cdot g$$



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 5.5 Representação (sem escala e em cores fantasia) das forças envolvidas na interação gravitacional de três corpos com a Terra.

A força peso é uma grandeza vetorial e está sempre orientada para o centro da Terra (figura 5.5). Na superfície da Terra, o valor da aceleração da gravidade é, aproximadamente, 9,8 m/s². Essa aceleração diminui à medida que nos afastamos da superfície do planeta. Na tabela 5.1, temos o valor da aceleração da gravidade na superfície de alguns astros.

É comum confundirmos massa e peso. Quando uma pessoa diz "Eu peso 80 kg", está se referindo à **massa**, não ao peso. Se uma pessoa tem 80 kg de massa, ela terá esses mesmos 80 kg em qualquer lugar – seja na Terra, em qualquer outro planeta ou na Lua. Já o peso dessa pessoa, de massa 80 kg, é de aproximadamente 800 N na superfície da Terra, enquanto na Lua seria reduzido a um sexto desse valor. Essa diferença se deve ao fato de que a gravidade da Lua é aproximadamente seis vezes menor que a gravidade da Terra.

Na tabela 5.2, apresentamos algumas diferenças entre massa e peso.

Tabela 5.2 Diferenças entre massa e peso

Massa	Peso
Grandeza escalar (intensidade e unidade).	Grandeza vetorial (intensidade e unidade, direção e sentido).
É uma característica do corpo e não depende da gravidade local.	Depende do campo gravitacional.
No SI, é medida em quilograma (kg).	No SI, é medido em newton (N).

Tabela 5.1 Valores aproximados da intensidade do campo gravitacional na superfície de alguns astros

Astro	g (m/s²)
Sol	274
Júpiter	26,5
Terra	9,80
Marte	3,92
Lua	1,67

Fonte: HANDBOOK of Chemistry and Physics. Chemical R. Publishing.

Interação de contato

Quando você pressiona o tampo de uma mesa com os dedos, o que impede que seus dedos penetrem essa superfície?

Para responder a essa questão, devemos lembrar que os corpos são constituídos de átomos, os quais têm sua região externa, denominada **eletrosfera**, ocupada por elétrons. Quando você pressiona o tampo da mesa, as eletrosferas dos átomos presentes em seu dedo serão repelidas pelas presentes nos átomos da mesa; do ponto de vista microscópico, seu dedo nem chega a tocar a mesa.

Globalmente, considerando o resultado desse imenso número de interações elétricas, nós o substituímos por uma única força, chamada de **força de contato**, que impede a penetração dos corpos sólidos.

Se você deixar cair uma borracha de uma altura de 1,0 m, por exemplo, ela será acelerada pela gravidade ao longo de todo esse percurso; ao aproximar-se do chão, porém, será repelida em centésimos de milímetro. A simples observação desse fenômeno nos dá uma ideia de como é intensa a força elétrica quando comparada à gravitacional.

Vejamos outro exemplo: uma pessoa em pé e em repouso sobre uma rampa. Como a pessoa é atraída pela Terra, fica sob a ação da força peso $\vec{P}$, vertical para baixo (figura 5.6). Com isso, no ponto de contato entre seus pés e o chão, a pessoa aplica uma força na rampa no sentido de penetrá-la. Impedindo a penetração dos pés da pessoa e equilibrando a ação da força peso, a rampa exerce sobre a pessoa uma força vertical para cima, que chamamos de **força de contato** $\vec{C}$, que, como explicado anteriormente, é na verdade a resultante de um número muito grande de forças elétricas repulsivas.

Sérgio Dotta Jr./Arquivo da editora



Figura 5.6 A força peso $\vec{P}$ (atração) e a força de contato $\vec{C}$ (força aplicada pela rampa na pessoa) se equilibram. Por facilidade, as forças $\vec{P}$ e $\vec{C}$ foram mostradas no mesmo ponto (centro de gravidade da pessoa).

Pedro Hamdan/Arquivo da editora

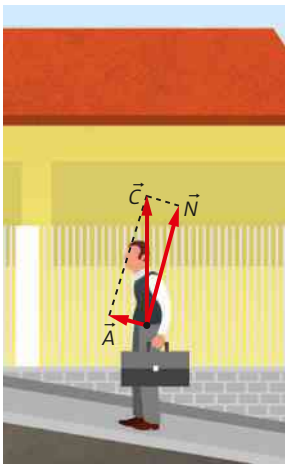


Figura 5.7 Representação da força de contato $\vec{C}$, exercida pela rampa sobre a pessoa, e suas componentes: normal $\vec{N}$ e atrito $\vec{A}$.

Para um melhor entendimento dessa interação, a força de contato $\vec{C}$ pode (e frequentemente deve) ser decomposta em duas: uma **normal** $\vec{N}$ à superfície de contato, que representa a componente que se opõe à penetração dos pés na rampa, e outra, tangente à superfície, que representa a componente que se opõe ao deslizamento da pessoa rampa abaixo, chamada de **força de atrito** $\vec{A}$.

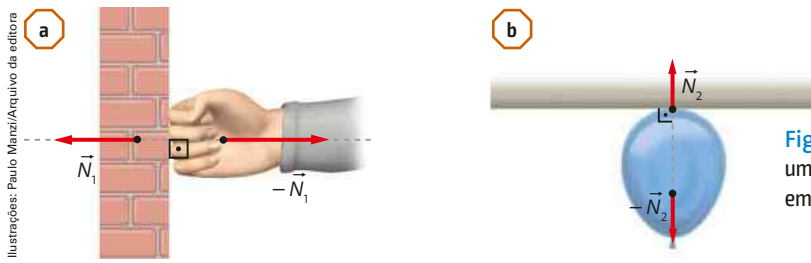
Na figura 5.7, a força normal $\vec{N}$ e a força de atrito $\vec{A}$ são as componentes da força de contato $\vec{C}$, que age na pessoa.

Força normal

A força normal – componente da força de contato – age sempre no sentido de empurrar os corpos, impedindo a interpenetração, e nunca no sentido de puxá-los uns contra os outros.

A figura 5.8 mostra situações nas quais temos a atuação da força normal. Em cada um dos casos apresentados temos uma interação – da mão com a parede e do balão com o teto. Em ambos os exemplos, forças de mesma intensidade, mesma direção e sentidos contrários agem nos dois corpos que interagem.

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.



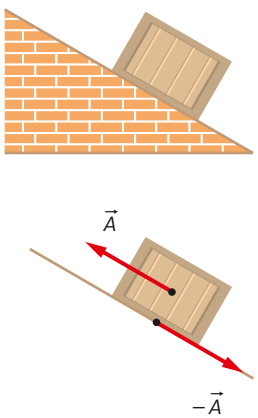
Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 5.8 A força normal age na mão de uma pessoa que empurra a parede (**a**) e em um balão, após subir e tocar o teto (**b**).

A força normal $\vec{N}$, representada na figura, age na direção perpendicular à superfície de contato, no sentido de empurrá-la, e sua intensidade depende da interação.

Força de atrito

A força de atrito, uma das componentes da força de contato, não existe sem a componente normal. Para que haja força de atrito é necessário que haja compressão entre os corpos. O atrito é causado pelo fato de as superfícies de contato, por mais lisas que sejam, apresentarem rugosidades – ainda que estas sejam microscópicas. Quando um bloco está em repouso sobre uma rampa, a força de atrito se opõe ao seu deslizamento. Portanto, no bloco há a ação da força de atrito em uma direção paralela à superfície de contato, no sentido da rampa para cima. Do mesmo modo, na rampa, a força de atrito se dá numa direção paralela à superfície de contato, no sentido da rampa para baixo (figura 5.9).



Formato/Arquivo da editora

Figura 5.9 Representação das forças de atrito envolvidas na interação de um bloco com uma rampa.

Consideramos dois casos de atrito: o **atrito estático** e o **atrito dinâmico**.

O **atrito estático** existe quando dois corpos estão em contato e há a tendência de deslizamento, sem que, no entanto, este esteja de fato ocorrendo. Na figura 5.10, temos uma representação do atrito estático: uma pessoa tentando colocar em movimento uma caixa que está apoiada no solo, mas sem conseguir.

Se a pessoa aumentar gradativamente a força com que empurra a caixa, a força de atrito estático também aumentará gradativamente. Desse modo, a força de atrito estático equilibra a força aplicada pela pessoa, e o repouso relativo das duas superfícies é mantido. Porém, a força de atrito estático não aumenta indefinidamente; ela aumenta até atingir um valor máximo denominado **força de atrito de destaque**. Quando a força aplicada pela pessoa superar esse valor máximo, ocorre o deslizamento da caixa.

O físico francês Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) verificou experimentalmente as leis do atrito seco entre as superfícies de dois corpos e concluiu que a intensidade da força de atrito estático máxima $A_{e_{máx.}}$ é diretamente proporcional à intensidade da força normal $\vec{N}$ entre os corpos em contato e é dada por:

$$A_{e_{máx.}} = \mu_e \cdot N$$

Nessa expressão, μ_e (constante de proporcionalidade) é o coeficiente de atrito estático entre as superfícies.



Andresr/Shutterstock/Glow Images

Figura 5.10 O atrito estático pode impedir que um corpo entre em movimento.

Para refletir
O que é mais fácil: colocar um corpo em movimento ou mantê-lo em movimento?

Veja resposta no Manual do Professor.

Uma vez superado o ponto de destaque, tem início o deslizamento. A partir daí, passamos a ter um atrito dinâmico entre a caixa e a superfície de apoio. A força de atrito dinâmico é constante e possui uma intensidade dada por:

$$A_{din.} = \mu_d \cdot N$$

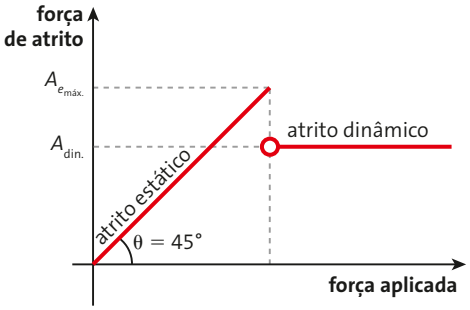
Nessa expressão, μ_d (constante de proporcionalidade) é o coeficiente de atrito dinâmico entre as superfícies.

Os coeficientes de atrito dependem dos materiais e da rugosidade das superfícies em contato. Normalmente, o coeficiente de atrito estático é maior do que o dinâmico. Isso significa que a intensidade da força de atrito dinâmico é menor do que a intensidade da força de atrito estático máxima.

Durante a fase estática, a intensidade da força de atrito é variável e o seu valor é exatamente igual à intensidade da força aplicada. A partir do momento em que a intensidade da força aplicada superar a intensidade da força de atrito estático máxima, tem início a fase dinâmica. Nessa fase, a intensidade da força de atrito é constante, isto é, independente do valor da força aplicada.

O gráfico mostrado na **figura 5.11** resume essas conclusões.

Relação entre força de atrito e força aplicada



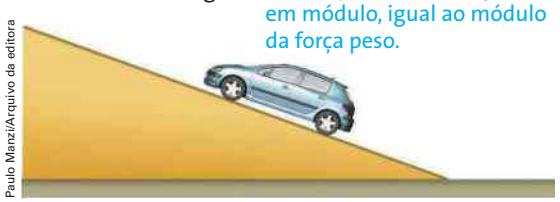
Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 5.11 Quando a força aplicada se torna mais intensa do que a força de atrito estático máxima, o corpo entra em movimento.

Exercícios

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

4. Um carro encontra-se parado em uma rampa, conforme mostra a figura.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

a) Que força a rampa exerce no carro? Qual é a relação dessa força com a força peso do carro? a) A força de contato, que é, em módulo, igual ao módulo da força peso.

b) Faça no caderno um esquema para representar a força exercida no carro pela rampa mostrando os componentes dessa força. Veja resposta no Manual do Professor.

5. Uma caixa de peso 300 N encontra-se em repouso sobre um piso horizontal. Em um determinado instante, uma pessoa começa a empurrar horizontalmente a caixa, conforme mostra a figura abaixo.



Antonio Jobson/Arquivo da editora

a) Quais são as forças que agem na caixa antes de a pessoa empurrá-la? E enquanto ela está sendo empurrada? Forças peso e contato; forças peso, contato e aplicada.

b) Se o coeficiente de atrito estático entre a caixa e o piso é igual a 0,2, qual é a intensidade da força que a pessoa aplica na caixa para colocá-la em movimento? Deve ser maior que 60 N.

6. (Enem) Uma pessoa necessita da força de atrito em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de atrito exercida pelo chão em seus pés.
Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de atrito mencionada no texto?

a) Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.

b) Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.

X c) Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.

d) Horizontal e no mesmo sentido do movimento.

e) Vertical e sentido para cima.

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

3 Força de tração e força elástica

Força de tração

A figura 5.12 mostra um carro em um atoleiro sendo rebocado por um trator por meio de um cabo de aço. Observe que a função do cabo de aço é transmitir para o carro a força exercida pelo trator. Nessas condições, dizemos que o cabo de aço está tracionado, ou seja, ele está sob **forças de tração** – um par de forças que age nos extremos do cabo, mantendo-o tenso.

Mas o que impede que o cabo arrebente? Novamente, aparecem as interações elétricas. Forças de natureza elétrica mantêm os átomos fortemente ligados uns aos outros, formando a estrutura microscópica que constitui o aço. Desse modo, quando o cabo é tracionado, essas forças elétricas atuam no sentido de impedir que os átomos se afastem uns dos outros, e é essa interação que impede a ruptura do cabo.

A intensidade dessas interações elétricas depende do tipo de substância. Nas substâncias formadas por moléculas, essas interações denominam-se ligações intermoleculares. No caso das substâncias formadas por íons, temos as chamadas ligações iônicas, que são estudadas com detalhes em Química. A resistência que os materiais apresentam, quando são esticados, é decorrente da ação de forças de natureza elétrica.

Ao observar a resistência que um cabo de aço oferece quando é esticado, estamos de fato observando o quão intensas são as forças elétricas que interligam suas partículas. Para simplificar, de modo equivalente ao que fizemos com a força de contato $\vec{C}$, vamos substituir todas essas forças elétricas por uma única, e chamá-la simplesmente de **tração** $\vec{T}$.

Para estudar as forças de tração, vamos considerar um fio (cabo ou corda) inextensível, ou seja, um fio cujo comprimento não aumente quando ele é tracionado e que tenha massa desprezível em relação aos corpos que o tracionam. Além disso, vamos considerar o fio perfeitamente flexível (dobrável), não sendo possível empurrar um corpo com ele nem usá-lo para aplicar forças que não estejam na direção em que ele é tracionado. Nessas condições, dizemos que o fio é ideal.

Na verdade, não existe corpo completamente indeformável, mas nas situações práticas, como um cabo de aço, por exemplo, essa deformação é tão pequena em relação ao seu comprimento que podemos desconsiderá-la.

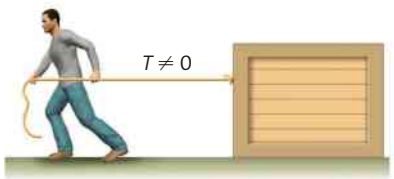
Assim, quando um fio ideal ligado a dois corpos é tracionado, ele impede que os corpos se separem; os sentidos das forças de tração que o cabo aplica nos corpos são os que se opõem à separação deles Na figura 5.13, o fio está ligado à mão da pessoa e ao bloco.

Como a massa do fio é desprezível, a força resultante sobre ele é nula. O fio ideal se comporta como mero transmissor de forças: ele transmite integralmente a força de uma extremidade à outra. A força de tração tem a direção do fio, o sentido de puxar, e a intensidade só depende da interação (figura 5.14).



Danny Martindale/FilmMagic/Getty Images

Figura 5.12 É comum a utilização de um cabo de aço em um trabalho de reboque.



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 5.13 As forças de tração exercidas pelo fio agem para impedir que os corpos se afastem.

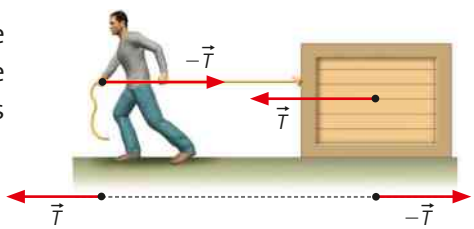
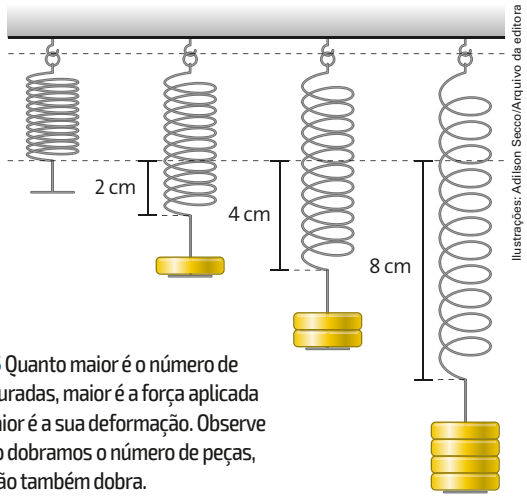


Figura 5.14 Representação (sem escala e em cores fantasia) das forças que agem nos corpos e no fio.

Força elástica

Tente esticar uma mola. Se ela for do tipo mostrado na **figura 5.15**, sua tarefa será bem fácil. Puxando pelas extremidades, ou fixando uma extremidade e puxando a outra, você certamente produzirá uma deformação na mola (aumento do comprimento).



Ilustrações: Adilson Secco/Arquivo da editora

Figura 5.15 Quanto maior é o número de peças penduradas, maior é a força aplicada à mola e maior é a sua deformação. Observe que, quando dobramos o número de peças, a deformação também dobra.



Marco de Bari/Arquivo da editora

Figura 5.16 Mola dimensionada para compor a suspensão traseira de uma motocicleta.

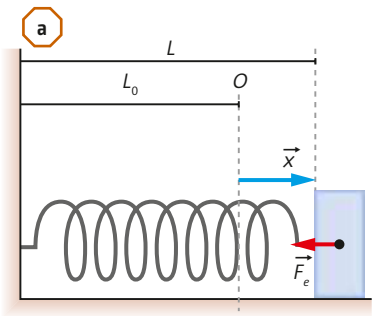


Figura 5.17 Representação da força elástica exercida por uma mola quando distendida (**a**) e quando comprimida (**b**).

Você pode verificar que, para produzir uma deformação cada vez maior, maior deve ser a força aplicada. Dizemos que a força aplicada é diretamente proporcional à deformação que produzimos na mola. A aplicação da força pode ser feita por meio de peças penduradas na extremidade da mola.

Observe agora a mola mostrada na **figura 5.16**. Certamente você encontraria muita dificuldade para esticar uma mola desse tipo. Se pendurarmos em uma mola desse tipo as pequenas peças mostradas na **figura 5.15**, é provável que não notemos deformação alguma.

Esse fato pode ser explicado associando-se a cada mola uma característica própria. Essa característica, que recebe o nome de **constante elástica**, depende do comprimento, do diâmetro e do tipo de material usado na confecção da mola. Assim, quanto maior for a constante elástica de uma mola, maior será a força necessária para produzir determinada deformação.

A constante elástica k de uma mola pode ser obtida pela relação:

$$k = \frac{F_e}{x}$$

Nessa expressão, F_e é a intensidade da força elástica (força que a mola exerce quando é solicitada) e x é a deformação sofrida pela mola. Na **figura 5.17**, a deformação x é dada por $L - L_0$. No SI, a constante elástica k é dada em **newton por metro (N/m)**.

Quando tentamos comprimir uma mola, ela resiste por meio de uma força contrária à aplicada por nós. O mesmo acontece quando tentamos esticá-la. Assim, o sentido da força aplicada pela mola (força elástica) é sempre contrário ao sentido da deformação. Vetorialmente, escrevemos:

$$\vec{F}_e = -k \cdot \vec{x}$$

As molas são classificadas como **corpos elásticos**, isto é, corpos que, ao serem deformados, tendem a retornar à forma original. Vários outros corpos exibem essa mesma propriedade, tais como as tiras de borracha que usamos para prender pastas para papéis (**figura 5.18**) ou as tiras elásticas usadas em roupas. Nesses casos, assim como nos exemplos anteriores, a força elástica é também a combinação das forças elétricas que atuam entre as partículas constituintes do material – interações que, por simplicidade, substituímos por uma única força.


Nito/Shutterstock/Glow Images

Figura 5.18 Pasta para papéis fechada com o uso de uma tira de material elástico.

É importante destacar que as molas somente apresentam esse comportamento elástico se as forças aplicadas forem na direção do seu comprimento. Nesse caso, dizemos que as molas estão tracionadas ou comprimidas. Sendo assim, sistemas mecânicos dotados de molas são montados de tal maneira que a força aplicada na mola tenha sempre essa direção.

O **dinamômetro** (**figura 5.19**) é o instrumento que mede forças diretamente da deformação por elas causada num sistema elástico. Consiste basicamente de uma mola, ganchos em suas extremidades e uma escala que pode ser graduada em kgf (quilograma-força) ou em newton. Seu funcionamento é baseado na deformação sofrida pela mola em razão da ação de uma força aplicada em uma das extremidades, cuja intensidade é indicada na escala graduada.

Inventado pelo engenheiro mecânico francês Edmé Régnier L'Aîné (1751-1825), o dinamômetro é um instrumento utilizado em balanças e, na Medicina, para medir a força muscular.


Sérgio Dotta Jr./Acervo do fotógrafo

Figura 5.19 Dinamômetro

As imagens desta página não estão representadas em proporção.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

Exercícios

7. A figura a seguir mostra um dinamômetro (medidor de força) tracionado por dois fios, com um bloco de 100 N dependurado em cada fio.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

a) Nessas condições, qual é a indicação do dinamômetro: zero, 100 N ou 200 N? Justifique. 100 N

b) Suponha que um dos fios seja desligado do bloco e amarrado a uma parede. Qual passará a ser a indicação do dinamômetro?

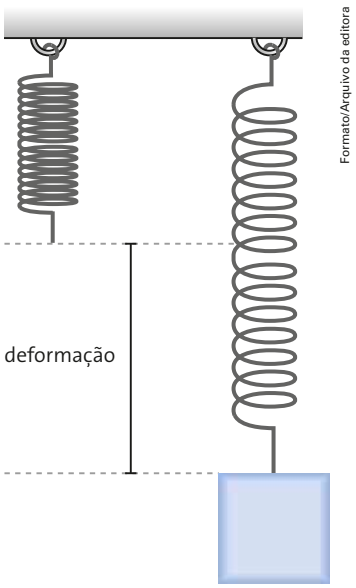
7. b) Continua indicando 100 N: o par de forças é aplicado, em uma das extremidades, pelo bloco suspenso e, na outra extremidade, pela parede.

8. Um lustre de 20 kg é preso a uma corrente, que pende do teto de uma sala, e permanece em repouso. Considere $g = 10\ m/s^2$.

a) Quais são as forças que agem no lustre? Calcule a intensidade de cada uma delas. Forças peso e tração; 200 N.

b) Quais são as forças que agem na corrente? Calcule a intensidade de cada uma delas. A corrente está tracionada: o par de forças é aplicado, numa delas pelo lustre e, na outra, pelo teto da sala. A tração é 200 N.

9. Uma mola, de constante elástica $k = 400\ N/m$, sofre uma deformação de 5,0 cm para equilibrar um bloco, conforme mostra a figura a seguir (sem escala).



Formato/Arquivo da editora

a) Faça no caderno um esquema mostrando as forças que agem no bloco, identificando cada uma delas. Veja resposta e resolução no Manual do Professor.

b) Calcule o módulo da força elástica da mola e do peso do bloco. $T = F_e = 20\ N$

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.



Roberto Machado/Noa/LightRocket/Getty Images

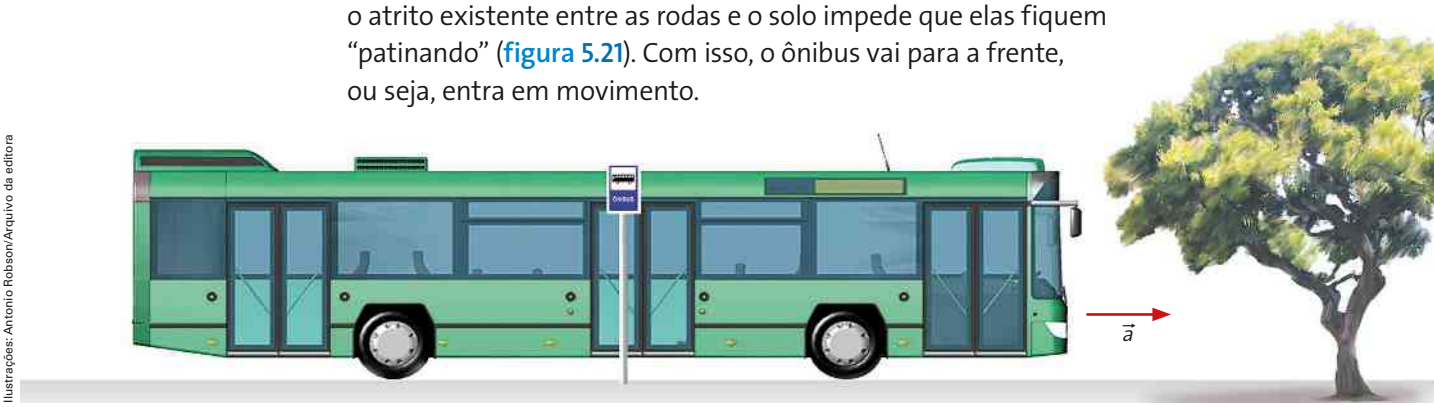
Figura 5.20 As pessoas, em pé ou sentadas em um ônibus, estão à mercê da inércia.

4 Primeira lei de Newton

As leis de Newton se referem ao movimento de corpos nas proximidades da superfície da Terra. Com as três leis de Newton, responderemos a algumas questões básicas, tais como: o que é necessário para colocar um corpo em movimento? E para manter um corpo em movimento?

Para o entendimento da primeira lei de Newton, necessitamos conhecer uma propriedade fundamental da matéria, a **inércia**. Para isso, observe a figura 5.20. O que acontece com as pessoas dentro do ônibus, inicialmente parado em relação ao solo, se ele entrar em movimento acelerando rapidamente?

Para responder a essa questão, vamos analisar, inicialmente, como o ônibus entra em movimento. As rodas do ônibus interagem com o solo e, nessa interação, o atrito existente entre as rodas e o solo impede que elas fiquem "patinando" (figura 5.21). Com isso, o ônibus vai para a frente, ou seja, entra em movimento.



Ilustrações: Antonio Robson/Arquivo da editora

Figura 5.21 A aceleração $\vec{a}$ do ônibus é resultado da interação das rodas propulsoras com o solo.

Veja resposta no Manual do Professor.

Para refletir
O que aconteceria com o ônibus se não existisse atrito entre as rodas e o solo?

As pessoas dentro do ônibus, por sua vez, precisam de alguma interação que as coloque em movimento juntamente com o ônibus. Nas pessoas que estão sentadas, a interação acontece entre suas costas e os encostos dos assentos. Por estarem fixados ao ônibus, os assentos entram em movimento junto com o ônibus, e os encostos empurram as pessoas para a frente.

E as pessoas que estão em pé? Para acompanhar o movimento do ônibus, elas precisam interagir com algo que esteja rigidamente ligado ao ônibus: segurar-se em um assento, ou em uma alça, ou ainda na barra que normalmente é fixada próximo ao teto dos ônibus urbanos. Assim, elas entrarão em movimento juntamente com o ônibus. Se uma pessoa permanecer em pé sem se segurar, quando o ônibus acelerar, ela poderá cair. Um observador fora do ônibus diria que a pessoa dentro do ônibus foi "projetada para trás". Na realidade, isso não acontece; a pessoa apresenta uma tendência natural de permanecer no mesmo lugar em relação ao solo e, como o ônibus vai para a frente, a pessoa fica para trás (figura 5.22).

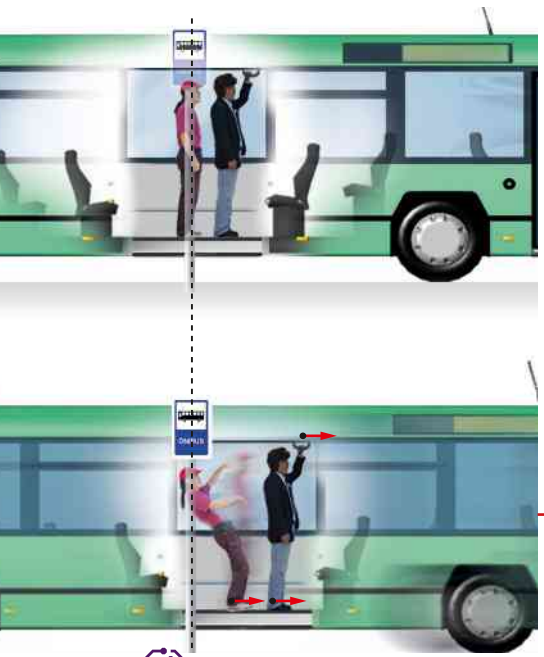


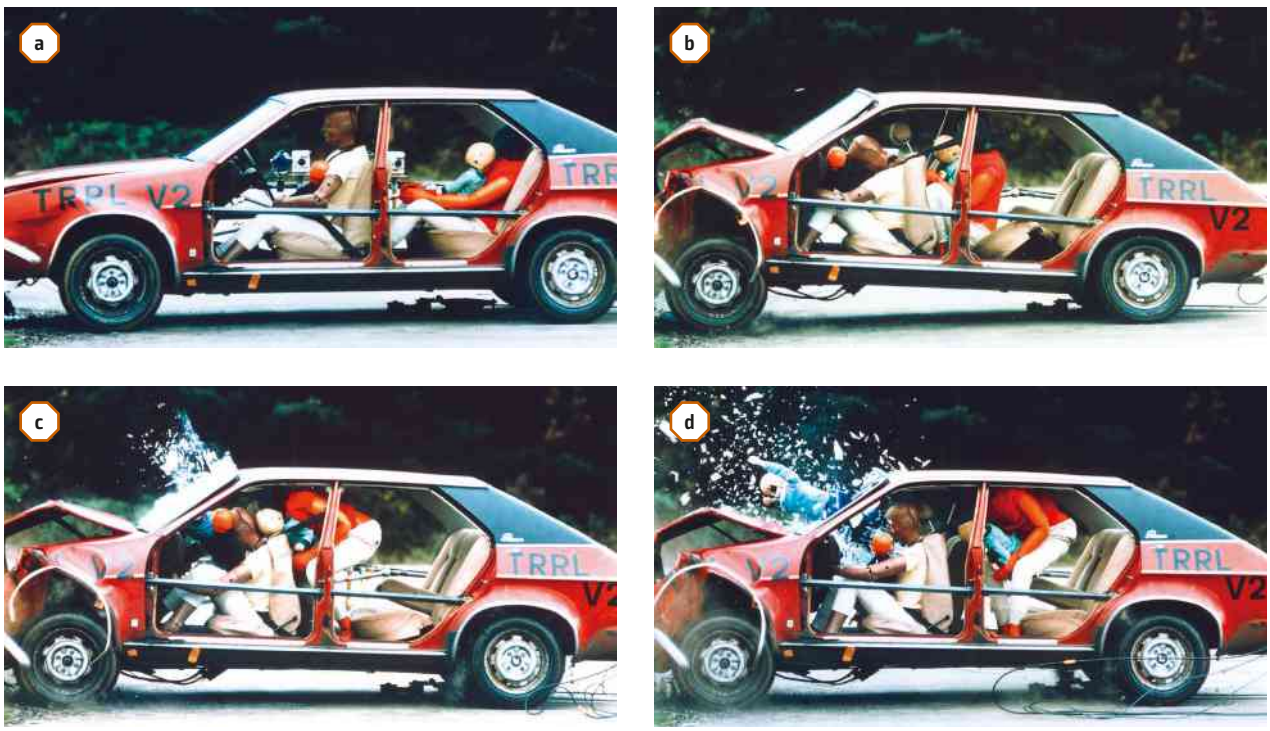
Figura 5.22 O poste fixo no solo serve de referência para identificar as posições dos passageiros antes e depois de o ônibus entrar em movimento. Os pés do passageiro da esquerda, em razão do atrito, acompanham o movimento do ônibus, mas o resto do corpo, por inércia, fica para trás. O mesmo não acontece com o passageiro da direita, que se encontra ligado ao ônibus.

De modo geral, podemos dizer que **corpos em repouso tendem a permanecer em repouso**.

Vejamos agora outra situação. Suponha que o ônibus esteja em movimento e, num determinado instante, o motorista pise no freio, reduzindo rapidamente a velocidade do veículo. Nesse caso, tanto as pessoas sentadas como as que estão em pé precisam providenciar alguma interação com algo fixo no ônibus para que sua velocidade em relação ao solo seja reduzida da mesma maneira.

Normalmente, as pessoas que estão sentadas se seguram no banco da frente, e as que estão em pé seguram-se nas alças ou nas barras de apoio. Mas por que isso é necessário? Porque as pessoas estão com velocidade igual à do ônibus. No momento da freada, a velocidade do veículo é reduzida. Se as pessoas estiverem ligadas ao ônibus, a velocidade de cada uma delas também será reduzida; mas se estiverem livres, a velocidade delas continuará com o mesmo valor inicial. Um observador fora do ônibus diria que as pessoas dentro do ônibus foram "projetadas para a frente". Novamente, isso não está correto. Na realidade, as pessoas em movimento tendem naturalmente a continuar em seu movimento original.

De modo geral, **corpos em movimento tendem a continuar em movimento**. Essa tendência natural – corpos em movimento tendem a se manter em movimento e corpos em repouso tendem a se manter em repouso – é chamada de **inércia** (figura 5.23).

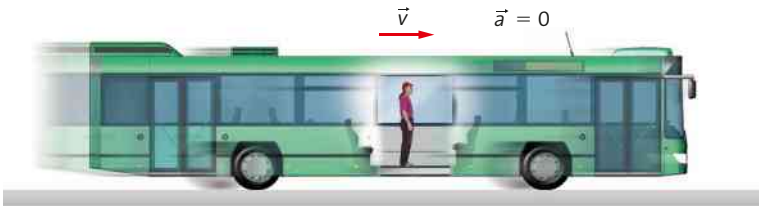


Fotos: TRL LTD/SPL/Latinstock

Figura 5.23 Sequência de imagens de um teste de colisão, em que bonecos representam pessoas. A foto (**a**) registra o exato momento em que o carro, a uma velocidade de 56 km/h, colide com um muro. As fotos (**b**), (**c**) e (**d**) registram momentos em que todos os ocupantes do carro são lançados para a frente (o carro para, mas eles se mantêm, por inércia, em movimento). Quanto maior a velocidade, maiores são os riscos.

Finalmente, analisemos uma terceira situação. O ônibus está em movimento em linha reta e com o velocímetro indicando sempre o mesmo valor, ou seja, a velocidade vetorial é constante. Nesse caso, não há variação da velocidade do veículo nem das pessoas dentro dele. Essas pessoas estão em repouso em relação ao ônibus, e apresentam, em relação ao solo, a velocidade do ônibus.

As pessoas, tanto as sentadas como as que estão em pé, estão em equilíbrio estático em relação ao ônibus e em equilíbrio dinâmico em relação ao solo (figura 5.24). Como já observamos, não é a velocidade em si que provoca o desconforto dos passageiros, mas sim as mudanças de velocidade.



Antonio Robson/Arquivo da editora

Figura 5.24 Passageiro em equilíbrio no interior de um ônibus com velocidade vetorial constante.

Com base nas considerações acima, concluímos que a tendência natural de um corpo em repouso é permanecer em repouso, e a tendência natural de um corpo em movimento é permanecer em movimento. Assim, para tirar um corpo do repouso ou alterar a velocidade de um corpo em movimento, necessitamos de uma interação entre o corpo e um agente externo. Em outras palavras, precisamos aplicar no corpo uma **força**.


Sérgio Dotta Jr./Arquivo da editora

Figura 5.25 O jogo de malha consiste em arremessar pequenos discos de metal (malhas) e atingir o pino adversário, que fica do outro lado do campo.

Para compreender a relação entre força e movimento, vamos considerar como exemplo um jogo muito comum nas cidades do interior e nos bairros das capitais: o jogo de malha (figura 5.25).

Após a pessoa arremessar a malha, esta desliza pelo campo. À medida que isso acontece, a malha perde velocidade devido ao atrito existente entre ela e o campo. Quanto menor o atrito, maior a distância percorrida pela malha até parar. E se conseguíssemos eliminar completamente os efeitos da força de atrito na malha? Embora na prática isso não seja possível, se imaginássemos uma situação ideal na qual a força de atrito fosse reduzida a zero, a malha não pararia.

Dizemos que um corpo em movimento, livre da ação de forças, continua em movimento.

A expressão "livre da ação de forças" não significa, necessariamente, que não existem forças agindo no corpo, mas sim que aquelas que o fazem apresentam uma força resultante nula.

A correção fundamental introduzida por Newton nas ideias de Aristóteles é que as forças devem ser relacionadas às variações de velocidade (e não à velocidade). Se as forças que agem em um corpo apresentam resultante não nula, esse corpo certamente apresenta variação de velocidade; por outro lado, se a força resultante for nula, o corpo não apresenta variação de velocidade, podendo estar em repouso (equilíbrio estático) ou em movimento retilíneo com velocidade constante (equilíbrio dinâmico).

Em resumo, uma força resultante se faz necessária para:

1. colocar em movimento um corpo inicialmente parado. Observe que nesse caso temos uma variação de velocidade: a velocidade era zero (o corpo estava parado) e passa a ser diferente de zero (quando o corpo entra em movimento);
2. alterar o movimento de um corpo, mudando a sua velocidade. Por mudança na velocidade, devemos entender não só a mudança no valor numérico da velocidade, mas, também, a mudança de sua orientação (direção e sentido), como acontece nas curvas.

Finalmente, podemos enunciar a **primeira lei de Newton**, também conhecida como **lei da inércia**:

> Um corpo livre da ação de forças está em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme.

Os referenciais inerciais

Qualquer corpo escolhido como referência, em relação ao qual serão analisadas as situações (posição, velocidade, etc.) de outros corpos, constitui um referencial. E qualquer corpo livre da ação de forças, nos termos da primeira lei de Newton – a lei da inércia –, é chamado de **referencial inercial**.

A partir de um referencial inercial, outros podem ser definidos. Qualquer referencial que esteja se movendo em linha reta e com velocidade constante, em relação a um referencial inercial, também é um referencial inercial.

A rigor, o solo (a Terra) não é um referencial inercial, mas o movimento de rotação da Terra em torno do seu próprio eixo afeta muito pouco os movimentos que presenciamos no dia a dia. Para os movimentos dos corpos celestes, a Terra não é um referencial adequado.

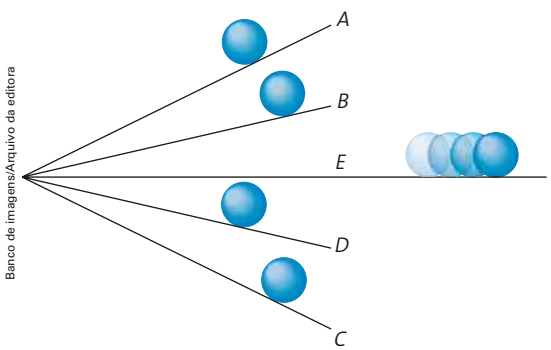
Em Astronomia, estrelas distantes que há séculos mantêm suas posições relativas – e por isso são chamadas de estrelas fixas – são adotadas como referencial inercial de precisão.

Exercícios

Veja complemento das respostas no Manual do Professor.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

10. Um corpo é lançado com determinada velocidade numa superfície plana, cuja inclinação com a horizontal pode ser variada. Verifica-se que, nas inclinações *A* e *B*, a velocidade do corpo diminui, enquanto nas inclinações *C* e *D* ela aumenta. O que se pode concluir em relação à situação *E*, que não apresenta inclinação em relação à horizontal? Despreze todas as formas de atrito. A velocidade permanece constante.



Banco de imagens/Arquivo da editora

11. Uma pessoa sentada em uma cadeira dentro de um vagão de um trem observa um pêndulo constituído por uma esfera presa a um fio que pende do teto do vagão, conforme a figura.

Paulo Manzi/Arquivo da editora



a) Com base nessas informações, podemos concluir que o trem está parado ou em movimento? Justifique. Não é possível dizer se o trem está parado ou em movimento.

b) Suponha que o vagão, inicialmente em repouso, entre em movimento acelerando rapidamente no sentido indicado pela seta, na figura. Durante a fase de aceleração, a esfera do pêndulo permanece ou não na posição mostrada na figura? Justifique. O fio se inclina.

c) Suponha que o vagão esteja em movimento uniforme no sentido indicado pela seta e o condutor do trem aplique os freios, fazendo-o parar. Durante a fase de aplicação dos freios, a esfera do pêndulo permanece ou não na mesma posição mostrada na figura? Justifique. Não permanece na mesma posição.

12. Um corpo encontra-se em movimento retilíneo com velocidade constante.

a) Existem forças agindo no corpo? Não existe força resultante.

b) Existe força resultante agindo no corpo? Podem existir forças agindo sobre o corpo, desde que a força resultante seja nula.

13. Uma mala é colocada solta no bagageiro instalado na capota de um ônibus que se movimenta em linha reta em uma rodovia com velocidade constante.

a) A mala se movimenta em relação ao ônibus? E em relação ao solo? Apenas em relação ao solo.

b) Suponha que, em determinado instante, o ônibus faça uma curva plana e horizontal para a direita. Explique o que acontece com a mala. Veja resposta no Manual do Professor.

c) Nas condições do item **b**, o ônibus pode ser considerado um referencial inercial? Justifique. Não.

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

5 Segunda lei de Newton

De acordo com a primeira lei de Newton, se um corpo está em repouso ou em movimento retilíneo com velocidade constante, as forças que agem sobre ele se equilibram, ou seja, a força resultante é nula.

Com base na primeira lei, concluímos que qualquer variação na velocidade de um corpo (em valor numérico e/ou em direção e sentido), em relação a um referencial inercial, está sempre associada a uma força resultante não nula. Isso significa que, se existe uma força resultante não nula atuando no corpo, o valor numérico da sua velocidade e/ou sua direção e sentido são variáveis. A segunda lei de Newton expressa a relação entre força resultante $\vec{F}_R$ e variação de velocidade $\Delta\vec{v}$.

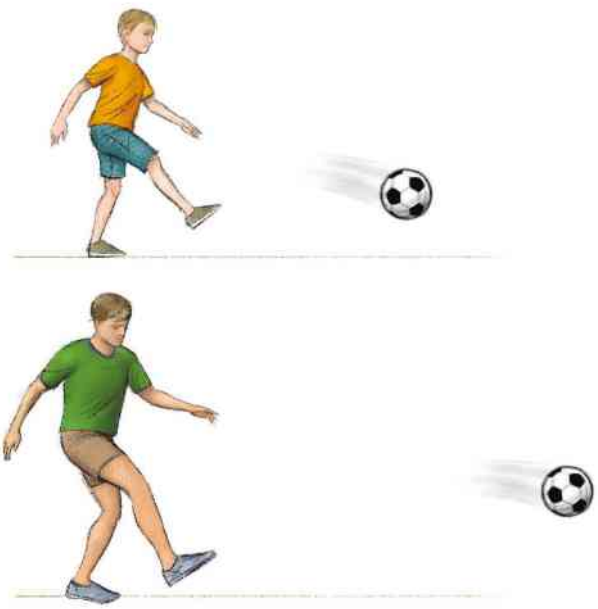


Figura 5.26 Forças de intensidades diferentes produzem, no mesmo corpo e no mesmo intervalo de tempo, variações de velocidade diferentes.

Para estabelecer essa relação, vamos considerar algumas experiências. A primeira delas tem o objetivo de determinar a relação existente entre força resultante e variação do módulo da velocidade. Para isso, vamos considerar que uma bola de futebol seja chutada, com toda a força possível, primeiro por uma criança e depois por um adulto. Nos dois casos, vamos supor que o tempo de interação do pé da pessoa com a bola seja o mesmo (figura 5.26).

Observamos que a bola adquire maior velocidade quando chutada pelo adulto, pois a força que ele imprime à bola é maior que a imprimida pela criança. Concluímos que, para um dado tempo de interação, **quanto maior é a força aplicada em um corpo, maior é a variação de velocidade** nesse intervalo de tempo.

Uma grandeza que influi na relação entre força e variação de velocidade é a **massa** do corpo. Vamos considerar agora que uma mesma pessoa chute duas bolas diferentes, uma com 500 g de massa e a outra com 900 g de massa (figura 5.27).

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

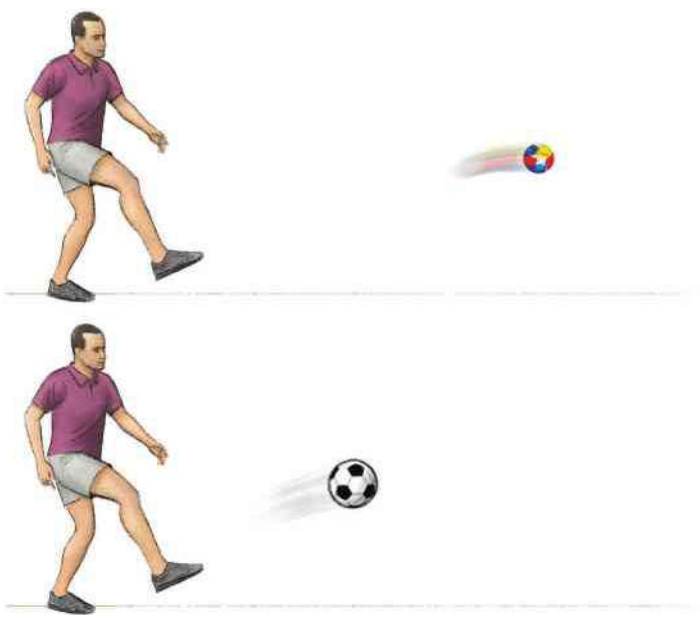


Figura 5.27 Forças de intensidades iguais, aplicadas em corpos de massas diferentes, produzem variações de velocidade diferentes.

Ilustrações: Mauro Nakata/Arquivo da editora

Para que as bolas adquiram a mesma velocidade no mesmo intervalo de tempo, é preciso que a bola de maior massa seja chutada com uma força maior. Assim, **quanto maior for a massa de um corpo, maior será a força necessária para produzir a mesma variação de velocidade** no mesmo intervalo de tempo.

Finalmente, analisemos a dependência entre a força resultante e o intervalo de tempo em que a interação ocorre. Suponha que um mesmo carro seja acelerado de 10 km/h para 40 km/h, em duas situações distintas: na primeira, o motorista pisa levemente no acelerador, pelo tempo que for necessário, e na segunda, pressiona o acelerador ao máximo. Observamos que, no segundo caso, o carro atinge a velocidade de 40 km/h em um intervalo de tempo menor do que no primeiro. Isso nos permite concluir que, **quanto maior é a força, menor é o intervalo de tempo necessário para o corpo sofrer a mesma variação de velocidade**.

Com as conclusões dessas três experiências, podemos relacionar a força resultante $\vec{F}_R$, a variação da velocidade vetorial $\Delta\vec{v}$, a massa m do corpo sujeito a essa interação e o intervalo de tempo Δt. Essa interação ocorre por meio da expressão:

$$\vec{F}_R = m \cdot \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Como a aceleração vetorial é a variação da velocidade vetorial por unidade de tempo, a expressão acima pode ser escrita:

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

Essa expressão representa a **segunda lei de Newton**. Devemos observar que a aceleração $\vec{a}$ possui sempre a mesma orientação (direção e sentido) da força resultante $\vec{F}_R$.

De acordo com o SI, na aplicação da segunda lei de Newton, devemos obedecer às seguintes unidades:

- força resultante em newton (N);
- massa em quilograma (kg);
- variação de velocidade em metro por segundo (m/s);
- intervalo de tempo em segundo (s);
- aceleração em metro por segundo por segundo (m/s/s = m/s²).

Exercício resolvido

1. Um automóvel com massa de 1000 kg, inicialmente em repouso, acelera uniformemente, atinge a velocidade de 90 km/h (ou 25 m/s) em 12,5 s e, em seguida, mantém essa velocidade constante durante 20 s. Determine a força resultante sobre o automóvel nas duas etapas: movimento acelerado e movimento uniforme.

Resolução:

A aceleração na primeira etapa é dada por:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a = \frac{25 - 0}{12{,}5} \Rightarrow a = 2{,}0 \text{ m/s}^2$$

E a força resultante é dada por:

$$F_R = m \cdot a \Rightarrow F_R = 1000 \cdot 2{,}0 \Rightarrow F_R = 2000 \text{ N}$$

Na segunda etapa, o movimento do automóvel é uniforme, o que significa dizer que a aceleração escalar é nula. Portanto, a força resultante é nula ($F_R = 0$).

Veja comentários e respostas desta seção no Manual do Professor.

Cinto de segurança e *airbag*

As pessoas que utilizam meios de transporte, tais como carros, ônibus e aviões, podem, em qualquer instante, ficar sujeitas a grandes variações de velocidade. É o que acontece no pouso e na decolagem de um avião ou, no caso dos veículos terrestres, nas freadas bruscas, na iminência de um acidente.

Para evitar desconforto e possíveis lesões nos passageiros, os meios de transporte normalmente são equipados com um dispositivo denominado **cinto de segurança**. Equipamento básico, o cinto de segurança estabelece a interação entre o passageiro e o veículo, fazendo que a velocidade do passageiro varie da mesma forma que a velocidade do veículo.

A Associação Brasileira de Educadores de Trânsito (Abetran) é responsável técnica por manuais básicos de segurança no trânsito. Esses manuais, que acompanham os veículos automotores, apresentam orientações ao condutor e aos passageiros de um veículo.

A Abetran ressalta a obrigatoriedade e a importância do uso do cinto de segurança, tanto nos bancos dianteiros quanto nos traseiros. Ele limita a movimentação do condutor e dos passageiros para, assim, reduzir a gravidade de possíveis lesões no caso de acidente ou de uma freada brusca.



Tom Grill/Photographer's Choice/Getty Images

O uso do cinto de segurança pelos passageiros que viajam no banco traseiro aumenta a segurança de todos os ocupantes do veículo.

Com a limitação dos movimentos, são reduzidos os efeitos de possíveis choques com as partes internas do veículo e evita-se que os ocupantes sejam lançados para fora do veículo.

Outro equipamento instalado nos automóveis com o intuito de aumentar a segurança dos ocupantes é o *airbag*. Obrigatório nos carros fabricados a partir de 2014, ele é constituído por um saco de material plástico. Se o veículo sofrer uma desaceleração violenta, o *airbag* se infla rapidamente, interpondo-se entre os ocupantes dos bancos dianteiros e a estrutura do veículo.

Numa colisão, a função do *airbag* é aumentar a distância de ação da força retardadora. Assim, em uma colisão, o passageiro fica sob a ação de uma força cuja intensidade média é menor que aquela a que ficaria sujeito sem o *airbag*, ou seja, contra a estrutura do veículo.

1. Por que alguns carros, além do cinto de segurança, são equipados também com *airbags*?
2. Você concorda com a afirmação de que "o cinto de segurança impede que as pessoas sejam lançadas para fora do carro"? Justifique.
3. Ao analisar o impacto em um acidente de trânsito, costuma-se comparar a colisão com um objeto fixo (como um poste) a 80 quilômetros por hora e a queda de uma pessoa do 9º andar de um prédio. Utilize as equações de queda livre de um corpo e faça uma estimativa da velocidade de um corpo que cai do 9º andar de um prédio atingindo o solo. Compare com o valor da velocidade dada no texto (80 km/h). Considere $g = 10\ m/s^2$.



Masterfile/Other Images

Airbag em veículo de passeio inflando-se durante um teste de colisão.

Exercícios

Veja complemento das respostas dos exercícios 14 e 15 no Manual do Professor.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

14. Um automóvel e um caminhão são acelerados de 0 km/h a 80 km/h, em uma pista horizontal, no mesmo intervalo de tempo. Sabendo-se que a massa do caminhão é maior que a do automóvel, em qual deles a força resultante é maior? Justifique.
A do caminhão é maior.

15. Um caminhão se move com velocidade constante de 72 km/h (ou 20 m/s) em uma trajetória retilínea e transporta em sua carroceria uma caixa de 300 kg de massa.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Em determinado instante, o motorista aciona os freios do veículo durante 10 s, fazendo o caminhão parar. Observa-se que, durante a aplicação dos freios, a caixa não escorrega na carroceria do caminhão.
Com base nessas informações, julgue as afirmações a seguir e escreva no caderno as incorretas, corrigindo-as. Somente I e III são corretas.

I. Antes da aplicação dos freios, a força resultante na caixa é nula, pois ela está em movimento retilíneo com velocidade constante em relação ao solo.

II. Durante a aplicação dos freios, como a caixa permanece em repouso em relação ao caminhão, a força resultante sobre ela é nula.

III. Durante a aplicação dos freios, o módulo da força resultante na caixa é 600 N.

16. Faça uma avaliação da ordem de grandeza do módulo da força necessária, em newtons, para parar um carro de massa 1 200 kg, em 10 s, que se movimenta a 90 km/h.
$F = 3 \cdot 10^3$ N. Portanto, a ordem de grandeza é 10^3.

17. A foto do teste de colisão que aparece na página anterior nos mostra o que acontece com uma pessoa dentro de um carro que é freado repentinamente. A aplicação dos freios retarda o veículo. Os ocupantes tendem, por inércia, a continuar com a mesma velocidade de antes da freada.
Qual é a função do *airbag*, mostrado na foto, durante a freada? Veja resposta no Manual do Professor.

18. Suponha que você está dirigindo um automóvel em uma estrada reta e horizontal. Faça, em seu caderno, uma figura com um bloco representando o automóvel e indique as forças que agem sobre ele. Estabeleça as relações entre os módulos dessas forças, nas seguintes situações: Veja respostas no Manual do Professor.

a) o automóvel movimenta-se com velocidade constante;

b) a velocidade do automóvel aumenta;

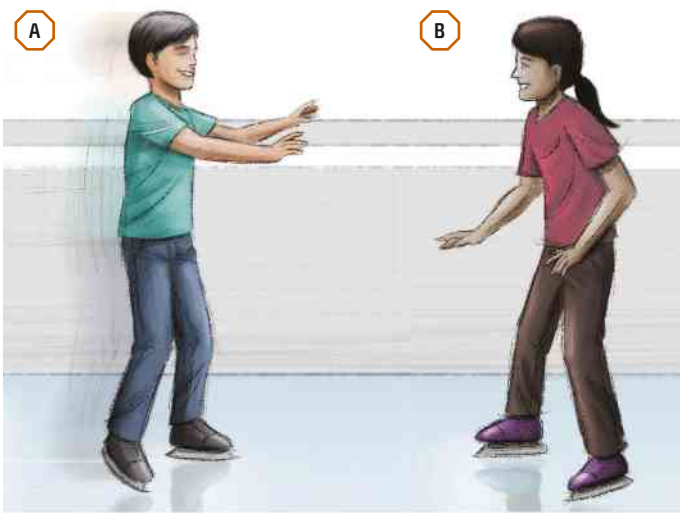
c) o automóvel sobe um aclive de ângulo α com a horizontal e a velocidade diminui.

Veja comentários, sugestões e um texto de apoio para esse tópico no Manual do Professor.

6 Terceira lei de Newton

O fundamental para o entendimento da terceira lei de Newton, conhecida como **lei da ação e reação**, é a noção de que, na natureza, as forças aparecem aos pares, sendo fruto da interação entre dois corpos. Quando dois corpos interagem, essa interação tem uma determinada intensidade, que é a mesma nos dois corpos. Vejamos um exemplo.

Na figura 5.28, vamos admitir que os patins tornem o atrito praticamente desprezível. Se o menino *A* empurrar a menina *B*, qual deles entra em movimento?

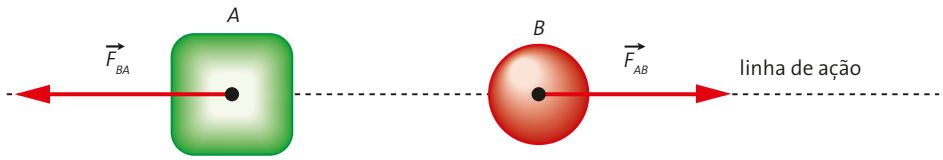


Mauro Nakata/Arquivo da editora

Figura 5.28 Interação entre dois corpos, *A* e *B*.

Certamente, os dois. O fato de o menino *A* empurrar a menina *B* estabelece entre eles uma interação que age simultaneamente nos dois. A menina *B*, recebendo um empurrão, entra em movimento para a direita e, reciprocamente, o menino *A* recebe o mesmo empurrão, entrando em movimento em sentido contrário ao movimento da menina *B*, ou seja, para a esquerda.

Esse exemplo caracteriza a lei da ação e reação: um par de forças de mesma intensidade (valor numérico), de mesma direção e de sentidos contrários que age nos dois corpos que interagiram. É importante observar que a **causa** (**força**) é a mesma nos dois corpos, mas os **efeitos** (**aceleração**) podem ser diferentes, se os corpos apresentarem massas diferentes (figura 5.29).



Banco de imagens/ Arquivo da editora

Figura 5.29 Representação das forças de ação e reação na interação entre dois corpos.

Assim, a **terceira lei de Newton** estabelece que:

> Se um corpo *A* exerce uma força sobre um corpo *B*, o corpo *B* reage em *A* com uma força de mesma intensidade e de mesma direção, mas de sentido contrário.

Em relação às forças de ação e reação, algumas observações são necessárias:

- Não existe força de ação sem a correspondente força de reação, ou seja, é impossível a um corpo exercer força sobre outro e não sofrer a consequente reação.
- As forças de ação e reação são simultâneas; não existe a possibilidade de ocorrer a ação e depois a reação; elas ocorrem no mesmo instante.
- Elas podem apresentar efeitos diferentes. Por exemplo, quando uma bola bate numa vidraça, embora o vidro e a bola sejam submetidos a forças de mesma intensidade, as consequências podem ser desastrosas para a vidraça, mas normalmente não são para a bola.
- O fato de elas apresentarem sempre a mesma intensidade, a mesma direção e sentidos contrários não significa que elas se equilibram. Pelo contrário, isso nunca acontece, pois elas são aplicadas em corpos diferentes. Só tem sentido falar em forças que se equilibram quando consideramos duas ou mais forças aplicadas a um único corpo.

Considere, na figura 5.28, que o menino *A* possua massa menor do que a menina *B*. Após o empurrão, qual deles adquire maior velocidade no mesmo intervalo de tempo?

A resposta é: o menino *A*, pois possui menor massa. Em módulo, as forças trocadas por eles são iguais. Assim:

$$F_{AB} = F_{BA} \Rightarrow m_A \cdot \frac{\Delta v_A}{\Delta t} = m_B \cdot \frac{\Delta v_B}{\Delta t}$$

Sendo $\Delta v = v - v_0$ e $v_0 = 0$, temos: $m_A \cdot v_A = m_B \cdot v_B$. Como $m_A < m_B$, então, $v_A > v_B$.

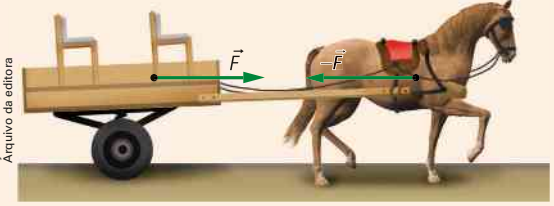
Exercício resolvido

2. Um cavalo está atrelado a uma carroça e parado em relação ao solo. Se o cavalo puxar a carroça, na tentativa de colocá-la em movimento, ela também vai puxar o cavalo, com uma força de mesma intensidade, mesma direção e sentido contrário (ação e reação). Portanto, o conjunto não sai do lugar. Certo ou errado? Justifique.



Resolução:

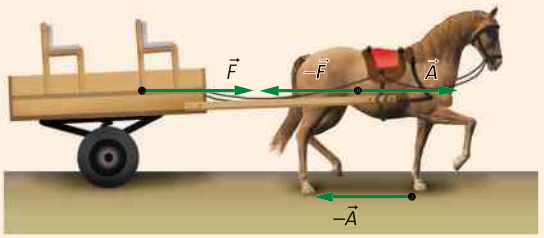
Se considerarmos apenas as forças que agem na direção horizontal e somente a interação entre o cavalo e a carroça, sem a presença do solo, teremos as forças agindo no cavalo e na carroça, conforme mostra a figura a seguir.



Ilustrações: Paulo Manzi/ Arquivo da editora

Se a interação fosse somente entre cavalo e carroça, o cavalo iria para trás, e a carroça, para a frente. No entanto, o cavalo consegue puxar a carroça. O movimento do conjunto é possível em razão da interação com um terceiro corpo, que é o solo. O cavalo empurra o solo para trás. Este reage, impulsionando o cavalo para a frente, juntamente com a carroça. É a interação do cavalo com o solo que possibilita o movimento do conjunto.

Nesta outra figura observamos que, no cavalo e na carroça, a força resultante é para a direita. O atrito entre a carroça e o solo, por ser bem menos intenso, foi desprezado (para isso servem as rodas).



Exercícios

19. Os princípios básicos da Mecânica foram estabelecidos por Isaac Newton e publicados em 1687, sob o título *Princípios matemáticos da Filosofia natural*. Com base nesses princípios, julgue as afirmativas a seguir e reescreva as incorretas, corrigindo-as em seu caderno. Veja complemento da resposta no Manual do Professor.

I. As forças de ação e reação possuem sempre o mesmo módulo e sentidos contrários. Portanto, elas sempre se equilibram. Incorreta.

II. Quanto maior a massa de um corpo, menor a sua inércia. Incorreta.

III. Quanto maior a massa de um corpo, maior deve ser o módulo da força resultante para que a variação de velocidade por unidade de tempo seja a mesma. Correta.

IV. Como a massa do Sol é muito maior que a massa da Terra, o módulo da força de ação do Sol sobre a Terra é maior do que o módulo da força de reação da Terra sobre o Sol. Incorreta.

V. Se duas equipes disputam um jogo de cabo de guerra (veja a figura a seguir), sairá vencedora a equipe que conseguir empurrar o solo com força de maior intensidade. Correta.



Mauro Nakata/ Arquivo da editora

20. Dois jovens, um de 60 kg e o outro de 40 kg, utilizando patins, estão juntos e em repouso sobre uma pista de patinação. Num determinado instante, um dos jovens empurra o outro. Sabendo que o jovem de 40 kg adquiriu uma velocidade de 3,0 m/s, podemos afirmar que:

a) o empurrão foi dado pelo jovem de 60 kg e este permaneceu parado, pois possui maior massa.

X b) o jovem de 60 kg adquiriu velocidade de 2,0 m/s no sentido contrário ao do jovem de 40 kg.

c) a intensidade da força é maior no jovem de 40 kg do que no de 60 kg.

d) os dois jovens movimentam-se juntos.

e) nesse caso, não é válida a terceira lei de Newton, pois existe uma única força de um jovem no outro.

21. Se um caminhão e um automóvel colidem frontalmente, sobre qual deles atuará uma força mais intensa? Qual dos veículos experimentará maior aceleração?

Igual nos dois; o automóvel.

Em construção

Veja comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

A vida e a obra de Isaac Newton

Newton nasceu em Woolsthorpe, no interior da Inglaterra, em 1643, e faleceu em 1727, aos 85 anos de idade, incompletos.

Em 1661, foi admitido como **sizar** no Trinity College, de Cambridge. Nessa época, embora a Universidade ainda estivesse ligada às tradições aristotélicas, Newton se dedicou à leitura dos *Princípios de Filosofia*, de René Descartes (1596-1650), do *Diálogo sobre os dois principais sistemas do mundo*, de Galileu, e dos trabalhos de Kepler, entre outros.

sizar – Denominação usada para designar o estudante que, para custear seus estudos, presta serviços domésticos.



David Willis/Alamy/Other Images

Trinity College, em Cambridge, Inglaterra. Foto de 2012.

O ano de 1665 é considerado "o ano das maravilhas" de Isaac Newton, em razão de sua produção intelectual. Nesse ano, um surto de peste bubônica atingiu várias partes da Europa, chegando a Londres e também à Universidade de Cambridge, que teve de fechar as portas.

Newton então retornou à sua aldeia natal, lá permanecendo cerca de dois anos. Durante esse tempo, como o próprio Newton afirma, "apoiado em ombros de gigantes", referindo-se especialmente a Copérnico, Galileu e Kepler, ele desenvolveu grande parte de suas teorias, principalmente a teoria da gravitação universal.

Segundo a lenda, a queda de uma maçã teria inspirado Newton a construir essa teoria, unificando "os céus e a Terra" pelas mesmas leis. Não deixa de ter sentido, se considerarmos as plantações de macieiras existentes em sua terra natal. Mas o importante é que Newton explicou que os planetas são mantidos em órbita ao redor do Sol em razão de uma força de atração, de origem gravitacional, que varia com o inverso do quadrado da distância. As mesmas leis que explicam esse movimento também explicam a queda de uma maçã.

Seu mais importante trabalho, *Princípios matemáticos da Filosofia natural*, foi publicado somente em 1687. Por conter demonstrações matemáticas extremamente complicadas, essa obra foi considerada de difícil leitura. Nesse trabalho, Newton lançou as bases modernas da Física aplicada à dinâmica dos corpos, aos movimentos no vácuo e aos meios resistivos (ar e água). Ele apresentou, também, o seu sistema de mundo, isto é, as bases da gravitação universal, trabalho que o consagrou perante a comunidade científica.

Em 1672, graças à construção de um telescópio (que passou a ser conhecido como telescópio newtoniano), Newton foi eleito membro da Royal Society, que presidiu por 24 anos. Em 1696, foi nomeado diretor da Casa da Moeda, em Londres.

Newton foi o segundo titular da cadeira lucasiana da Universidade de Cambridge, cátedra criada em 1663, e recebeu muitas honrarias ainda em vida, tendo sido eleito Cavaleiro do Reino, recebendo o título de Sir. Por ocasião da sua morte, a Inglaterra tributou uma reverência digna dos reis e dos grandes heróis. Seu túmulo encontra-se na Abadia de Westminster, em Londres.

Trabalho em equipe

Façam uma pesquisa em grupo sobre a vida e a obra de Isaac Newton. Nessa pesquisa, alguns pontos devem ser destacados:

1. Como era a vida na Europa no século XVII? Entrevistem seu professor de História.
2. Quais as implicações do trabalho de Newton para a sociedade da época e a atual?
3. Qual a importância do trabalho de Newton para as Ciências da Natureza (Física, Química e Biologia)?

Experimento

Veja comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

Calibração de uma mola

Um dinamômetro – dispositivo utilizado para a medição da intensidade de forças, como o da foto ao lado – é constituído basicamente por uma mola que, sob a ação de uma força, sofre uma deformação. Uma mola também pode funcionar como uma balança para a determinação da massa de um corpo. Para isso, é preciso que ela seja previamente calibrada.

Propomos, nesta atividade prática, a calibração de uma mola helicoidal, munida de um suporte para pesos e dependurada ao lado de uma régua, conforme mostra a ilustração no fim da página.

Ao colocarmos uma massa medida, comumente chamada de "peso", no suporte, como devemos proceder para determinar a deformação produzida por essa massa na mola? Discuta com os colegas o procedimento.

Cada grupo de alunos deve repetir esse procedimento pelo menos mais quatro vezes, com um peso de valor diferente a cada vez, e organizar os dados em uma tabela como esta:



Martyn F. Chillmaid/SPL/Latinstock

Dinamômetro analógico.

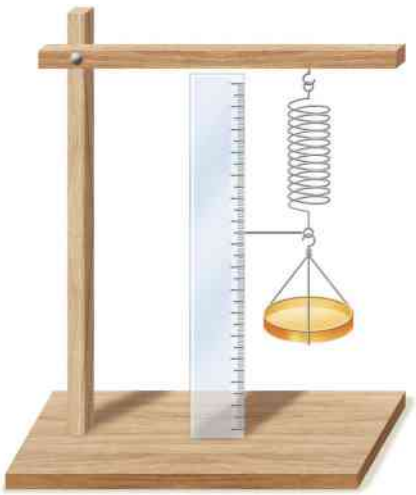
Massa medida (g)	**Deformação** (cm)

De acordo com os valores da tabela, é possível afirmar que a deformação é diretamente proporcional ao peso colocado no suporte?

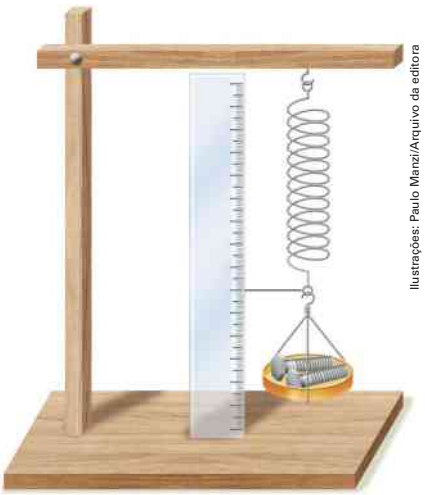
Um gráfico da deformação da mola (eixo *y*) em função da massa medida colocada no suporte (eixo *x*) pode ajudá-lo a responder a essa questão.

Como podemos utilizar esse dispositivo como uma balança? Faça uma comparação entre os valores da massa de um objeto obtidos por uma balança de precisão e por meio de sua mola calibrada. Os valores obtidos são iguais? Em caso negativo, justifique.

Observação: Sugerimos que cada grupo identifique a mola utilizada nessa calibração, pois, na atividade prática do capítulo seguinte, ela será usada como medidor de forças.



Calibrando a mola. A leitura dessa posição da régua deve ser considerada o ponto zero para a medição da deformação da mola.



Medição da deformação da mola.

Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Representações sem escala e em cores fantasia.

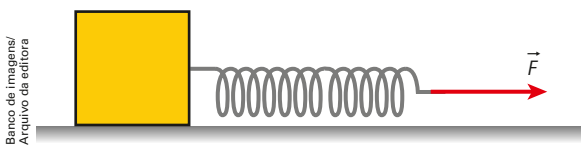
Retomando

22. Em uma publicação de orientação de trânsito afirma-se que "em uma colisão a 90 km/h, uma criança de massa 20 kg exerce uma força de 2 500 N nos braços da pessoa que a segura".
Com base nesses dados, explique o porquê da exigência de se transportar crianças no banco de trás do automóvel em cadeiras apropriadas e com cinto de segurança. Veja resposta no Manual do Professor.

23. Um automóvel a 72 km/h (20 m/s) colide com a traseira de um veículo parado. Precavido, o motorista do automóvel estava usando cinto de segurança. Utilizando valores razoáveis para a massa do motorista e a distância de frenagem, estime o módulo da força constante, por hipótese, exercida pelo motorista sobre o cinto de segurança. Compare o resultado com os dos colegas de classe.
Veja comentários sobre a resposta no Manual do Professor.

24. Em 11 de setembro de 2001, as "torres gêmeas" na cidade de Nova York, Estados Unidos, foram destruídas em um ataque terrorista que ninguém poderia imaginar.
Num intervalo de 15 minutos, as torres foram atingidas por dois aviões. Um deles, um Boeing 767-223 de 180 toneladas e velocidade de 720 km/h no momento do impacto, foi desacelerado em 1,5 s até parar alojado na torre. Com base nesses dados, podemos afirmar que a força média de impacto do avião com a torre, em newton, foi da ordem de:
a) 10^4. b) 10^5. c) 10^6. X d) 10^7. e) 10^8.

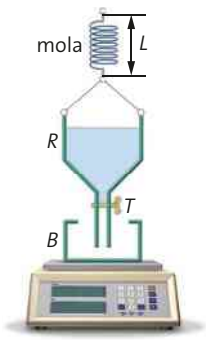
25. (UFF-RJ) Professores do Instituto de Física da UFF estudam a dinâmica do movimento de placas geológicas que compõem a crosta terrestre, com o objetivo de melhor compreender a física dos terremotos.
Um sistema simples que exibe os elementos determinantes dessa dinâmica é composto de um bloco apoiado sobre uma mesa horizontal rugosa e puxado por uma mola, como mostrado abaixo.



Banco de imagens/ Arquivo da editora

A mola é esticada continuamente por uma força $\vec{F}$ de módulo crescente, mas o bloco permanece em repouso até que o atrito não seja mais suficiente para impedir seu deslocamento.
Enquanto não houver deslizamento, é correto afirmar que:
X a) o módulo da força que o bloco faz sobre a mola é igual ao módulo da força de atrito sobre o bloco.
b) o módulo da força de atrito sobre o bloco é maior do que o módulo da força que a mola faz sobre o bloco.
c) o módulo da força de atrito depende da força normal sobre o bloco, já que a normal é a reação ao peso.
d) o módulo da força que a mola faz sobre o bloco é maior do que o módulo da força que o bloco faz sobre a mola.
e) o módulo da força de atrito sobre o bloco não muda enquanto a mola é esticada.

26. (Vunesp-SP) O equipamento representado na figura foi montado com o objetivo de determinar a constante elástica de uma mola ideal. O recipiente *R*, de massa desprezível, contém água; na sua parte inferior, há uma torneira *T* que, quando aberta, permite que a água escoe lentamente com vazão constante e caia dentro de outro recipiente *B*, inicialmente vazio (sem água), que repousa sobre uma balança. A torneira é aberta no instante $t = 0$ e os gráficos representam em um mesmo intervalo de tempo (t') como variam o comprimento *L* da mola (gráfico 1), a partir da configuração inicial de equilíbrio, e a indicação da balança (gráfico 2).



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Gráfico 1

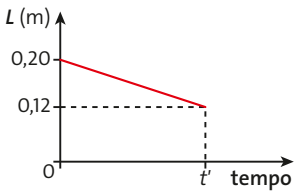
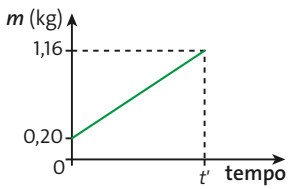


Gráfico 2



Analisando as informações, desprezando as forças entre a água que cair no recipiente *B* e o recipiente *R* e considerando $g = 10\ m/s^2$, é correto concluir que a constante elástica *k* da mola, em N/m, é igual a:
X a) 120. d) 140.
b) 80. e) 60.
c) 100.

CAPÍTULO 6

Aplicações das leis de Newton

Veja orientações e sugestões de encaminhamento para este capítulo no Manual do Professor.

Sutton Images/Corbis/Latinstock



Autódromo de Interlagos, São Paulo (SP), 2015.

Contornar uma curva com um carro é um exemplo de aplicação das leis de Newton. Como agem as forças em um carro que faz uma curva?

Veja comentários e atividade complementar para este tópico no Manual do Professor.

1 Corpos em movimento horizontal

As imagens desta página não estão representadas em proporção.

Na figura 6.1 observamos uma composição ferroviária constituída por uma locomotiva e vários vagões usados para transporte de cargas.



Lucas Lacaz Ruiz/Fotoarena

Figura 6.1 Composição de locomotiva e vagões com carregamento de bobinas de fios. São José dos Campos (SP), 2014.



Westend61/Getty Images

Figura 6.2 Conforme o número de carrinhos aumenta, a aceleração é menor.


Mariocl/Shutterstock/Glow Images

Figura 6.3 O sistema avião + planador pode ser considerado um sistema isolado.

A partir do instante em que a locomotiva inicia o movimento, por meio da interação de suas rodas com os trilhos, a velocidade do conjunto aumenta lentamente até atingir o valor que será mantido constante durante boa parte da viagem. Quanto maior o número de vagões que a locomotiva coloca em movimento, maior a massa (maior inércia) do sistema e, consequentemente, menor a aceleração do conjunto, supondo que a força dos motores da locomotiva seja constante.

Vamos analisar a aplicação das leis de Newton nessa situação, e em várias situações semelhantes, como a mostrada na figura 6.2.

Uma vez escolhido o objeto de estudo, que pode ser um ou mais elementos do sistema, ele passa a ser um **sistema isolado**. Todo o restante constitui o meio externo. É preciso analisar detalhadamente todas as interações entre o sistema isolado e o meio externo (figura 6.3). Isso se traduz em um diagrama de forças no qual a terceira lei de Newton – ação e reação – assume um papel de destaque.

Como exemplo, vamos supor que uma locomotiva, de massa *M*, puxe três vagões, de massa *m* cada um, conforme a figura 6.4.



Paulo Manzi/ Arquivo da editora

Figura 6.4 Locomotiva, com massa *M*, e três vagões, com massa *m* cada um.

Vamos escolher um dos vagões para análise; por exemplo, o de número 2 (figura 6.5). O vagão escolhido constitui um sistema isolado que interage com o meio externo. Desprezando as forças resistivas (resistência do ar e atrito nas rodas), o meio externo é constituído pela Terra, os vagões 1 e 3 e os trilhos. O nosso sistema isolado interage, portanto, com a Terra, com os vagões 1 e 3 e com os trilhos.

A figura 6.6 mostra o diagrama de forças no vagão 2 devido a essas interações. Note que assinalamos as forças que os componentes do meio externo exercem sobre o vagão escolhido, e não as forças que ele exerce nos componentes do meio externo.

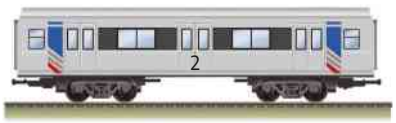
Na vertical, a força resultante sobre o vagão 2 é nula. Assim, em módulo, temos: $C = P$. Na horizontal, temos duas situações possíveis:

- O sistema movimenta-se com velocidade constante. Neste caso, temos, em módulo: $F_{12} = F_{32}$.
- O sistema apresenta movimento acelerado. Neste caso, existe uma força resultante sobre o vagão 2, de módulo dado por:

$$F_R = F_{12} - F_{32} \Rightarrow m \cdot a = F_{12} - F_{32}$$

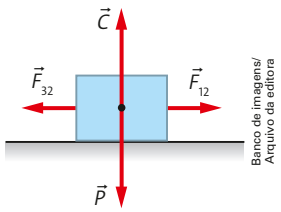
Se o vagão 2 acelera para a direita, isso significa dizer que todos os vagões, incluindo a locomotiva, têm a mesma aceleração horizontal para a direita. Consequentemente, tanto nos vagões como na locomotiva, há uma força resultante para a direita.

Acompanhe o exercício resolvido 1, que mostra uma aplicação numérica de uma situação cotidiana.



Paulo Manzi/ Arquivo da editora

Figura 6.5 Vagão escolhido, para análise, como sistema isolado.



Banco de imagens/ Arquivo da editora

Figura 6.6 Diagrama das forças que atuam no vagão 2. Nessa linguagem esquemática, o vagão 2 é representado por um simples bloco; $\vec{F}_{12}$ significa "a força que o vagão 1 exerce sobre o vagão 2"; e $\vec{F}_{32}$, "a força que o vagão 3 exerce sobre o vagão 2".

Para refletir

Como seria o diagrama de forças nos vagões 1 e 3 adotando-se as mesmas considerações utilizadas para o vagão 2?

Veja resposta no Manual do Professor.

Exercício resolvido

1. Dois carrinhos de supermercado, *A* e *B*, interligados por um cabo, são puxados horizontalmente, sobre uma superfície horizontal, por uma força *F* no carrinho *A*, conforme mostra a figura.



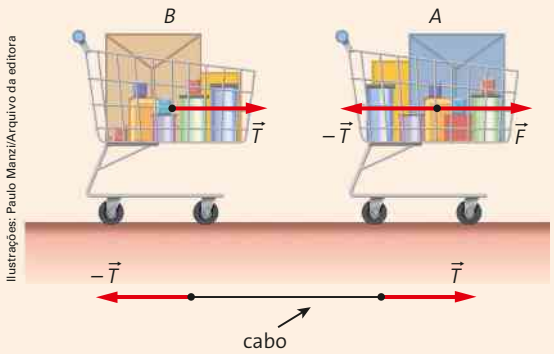
Suponha que a massa do carrinho *A* seja 16 kg, e a do carrinho *B*, 8 kg. Em razão da existência de rodas nos carrinhos, o atrito pode ser desprezado. Nessas condições, determine:

a) a intensidade da força $\vec{F}$ exercida para acelerar o conjunto 0,5 m/s²;
b) a intensidade da força de tração no cabo que interliga os carrinhos, nas condições do item **a**;
c) o que deve acontecer com a intensidade da força $\vec{F}$ se, por um defeito, as rodas dos carrinhos pararem de girar, mas a pessoa quiser continuar imprimindo ao conjunto a mesma aceleração.

Considere o coeficiente de atrito dinâmico igual a 0,4 e $g = 10$ m/s².

Resolução:

Na figura seguinte temos as forças horizontais em cada carrinho e no cabo que interliga os dois carrinhos.



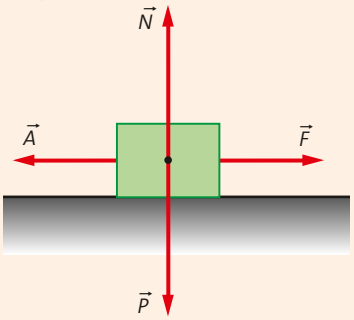
Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

As forças verticais (peso e contato) não foram representadas, pois elas se equilibram.

a) Considerando que o objeto de estudo seja um único bloco constituído pelos dois carrinhos, $\vec{F}$ é a força resultante sobre o conjunto, cuja intensidade é dada pela segunda lei de Newton:
$F = (m_A + m_B) \cdot a \Rightarrow F = (16 + 8) \cdot 0{,}5 \Rightarrow F = 12$ N
Portanto, a força exercida pela pessoa tem intensidade igual a 12 N. Nesse caso, o que aconteceu com as forças $\vec{T}$ e $-\vec{T}$ mostradas na figura acima?

b) Vamos considerar somente um dos carrinhos. Por exemplo, o carrinho *B*, cujo diagrama de forças está mostrado na figura da página anterior. Observe que a tração $\vec{T}$ é a força resultante. Então, de acordo com a segunda lei de Newton, obtemos:
$T = F_R = m_B \cdot a \Rightarrow T = 8 \cdot 0{,}5 \Rightarrow T = 4$ N
Assim, a intensidade da força de tração que interliga os carrinhos é 4 N.

c) Se as rodas param de girar, o sistema passa a funcionar como um bloco sendo arrastado sobre uma superfície horizontal. A figura ao lado mostra o diagrama de forças em que os dois carrinhos são considerados como um único bloco, de massa m_T igual a 24 kg (que é a soma das massas dos dois carrinhos).
Observe na figura que optamos por representar a força de contato $\vec{C}$ que o piso exerce no bloco por meio de suas componentes: a força normal $\vec{N}$ e a força de atrito $\vec{A}$.
Na vertical, temos:
$N = P = m_T \cdot g \Rightarrow N = 24 \cdot 10 \Rightarrow N = 240$ N
E, na horizontal, temos:
$F_R = F - A \Rightarrow m_T \cdot a = F - \mu \cdot N$
Assim, o módulo da força *F* passa a ser:
$F = m_T \cdot a + \mu \cdot m_T \cdot g \Rightarrow F = 24 \cdot 0{,}5 + 0{,}4 \cdot 24 \cdot 10 \Rightarrow F = 108$ N
Portanto, nessas condições, a intensidade da força $\vec{F}$ deve ser aumentada de 12 N para 108 N.

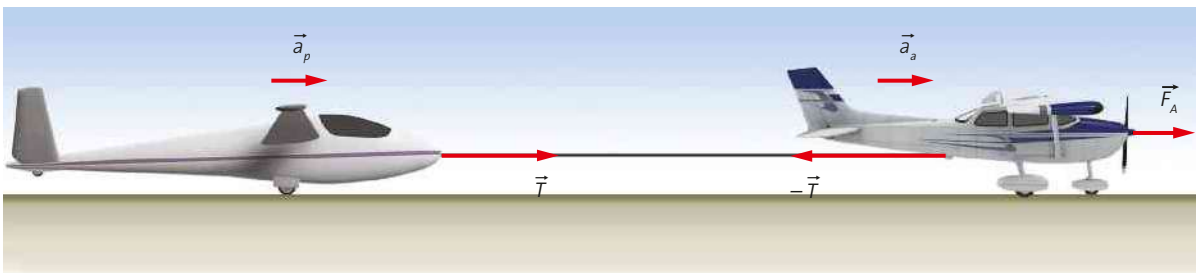


Banco de imagens/Arquivo da editora

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Exercícios

1. A figura a seguir (sem escala) mostra um avião rebocando um planador, por meio de um cabo inextensível e de massa desprezível, e acelerando ao longo de uma pista para levantar voo.



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Sejam $\vec{F}_A$ a força do motor do avião; $\vec{T}$ a tração no cabo que une o avião ao planador; $\vec{a}_p$ a aceleração do planador e $\vec{a}_a$ a aceleração do avião. Compare, em módulo:
a) a aceleração do avião $\vec{a}_a$ com a do planador $\vec{a}_p$; Iguais
b) a tração $\vec{T}$ exercida no planador com a exercida no avião; Iguais
c) a força do motor do avião $\vec{F}_A$ com a tração $\vec{T}$ no cabo de reboque. $F_A > T$

2. (UFPB) A cana-de-açúcar depois de cortada é transportada até a usina por treminhões, que são compostos pela cabina, também chamada de cavalo, e mais dois reboques. Por lei, a carga máxima permitida que pode ser transportada por um treminhão é de 60 toneladas; entretanto, cada reboque pode suportar uma carga máxima de até 45 toneladas. Considere que:
- os reboques estão acoplados por um cabo de massa desprezível, o qual pode suportar uma tensão máxima de até $35 \cdot 10^3$ N;
- o papel do cavalo é aplicar uma força $\vec{F}$ nos dois reboques.



Nesse contexto, o cavalo, em um trecho reto, consegue imprimir uma aceleração máxima de módulo 0,5 m/s² ao treminhão, transportando a carga máxima permitida. A partir dessas informações, desprezando as massas dos reboques e da cabina, identifique as afirmativas corretas.
I. A tensão máxima que o cabo vai suportar é de $27{,}5 \cdot 10^3$ N.
X II. A tensão mínima que o cabo vai suportar é de $7{,}5 \cdot 10^3$ N.
X III. A tensão no cabo dependerá da distribuição da carga nos dois reboques.
X IV. A força que o motor do treminhão aplicará aos dois reboques é de $30 \cdot 10^3$ N.
V. A força que o motor do treminhão aplicará aos dois reboques dependerá da distribuição da carga nos mesmos.

2 Elevadores

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

Basicamente, os elevadores podem ser tratados como um bloco de massa total M que se movimenta verticalmente em movimento retilíneo sob a ação de duas forças: a força de tração $\vec{T}$ no cabo (ou cabos) e a força peso $\vec{P}$, conforme mostra a **figura 6.7**.

O fato de o elevador estar subindo ou descendo determina apenas o sentido da velocidade. Por outro lado, a comparação entre as intensidades das forças peso e de tração nos permite determinar o que acontece com o módulo da velocidade enquanto o elevador sobe ou desce, isto é, se ele apresenta movimento uniforme, acelerado ou retardado.

Se o elevador, inicialmente parado, entra em movimento, para cima ou para baixo, o movimento só pode ser acelerado. Nessas condições, a resultante das forças peso e de tração tem o mesmo sentido do movimento. A **figura 6.8** mostra as duas possibilidades: a de subida e a de descida.

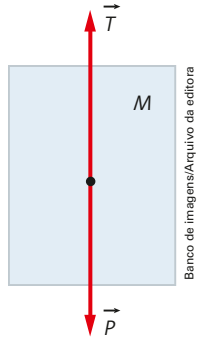


Figura 6.7 Diagrama de forças que agem em um elevador.

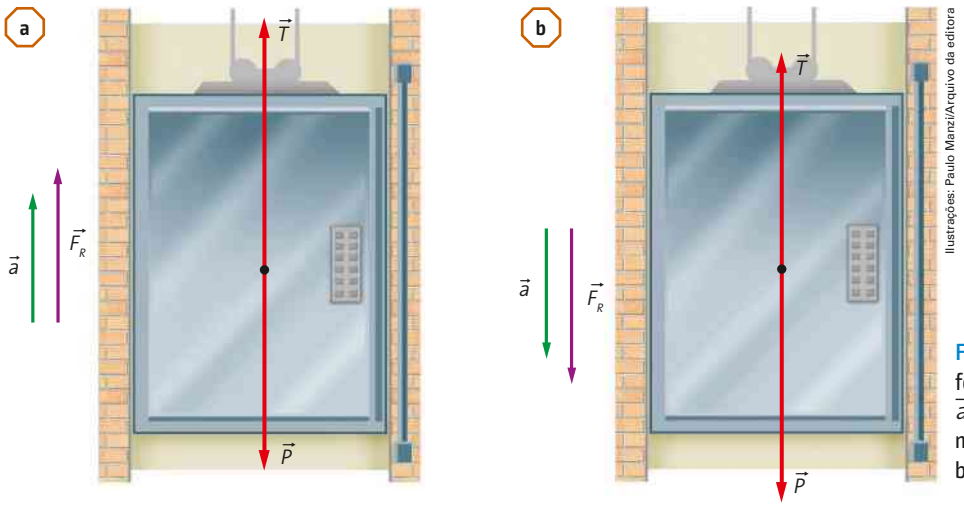


Figura 6.8 Representação da força resultante $\vec{F}_R$ e da aceleração $\vec{a}$ em um elevador entrando em movimento para cima (**a**) e para baixo (**b**).

Observe que, para um elevador parado iniciar a subida, a intensidade da força de tração deve ser maior que a intensidade da força peso, pois a aceleração tem o mesmo sentido da força resultante. Nesse caso, a intensidade da força resultante é dada por:

$$F_R = T - P \Rightarrow M \cdot a = T - M \cdot g$$

E, para iniciar a descida, a intensidade da força de tração deve ser menor que a intensidade da força peso. Assim, a intensidade da força resultante é dada por:

$$F_R = P - T \Rightarrow M \cdot a = M \cdot g - T$$

Vamos analisar agora o caso de um elevador que já esteja em movimento. Para isso, primeiro assinalamos o sentido do vetor velocidade (para cima ou para baixo); em seguida, comparamos a intensidade da força de tração com a da força peso: quando o sentido da força resultante coincide com o sentido da velocidade, significa que o elevador está em movimento acelerado; se a força resultante estiver no sentido contrário ao da velocidade, o elevador estará em movimento retardado; e, se a força resultante for nula, concluímos que o movimento do elevador é uniforme.

Exercício resolvido

2. Em um elevador de massa 920 kg, uma pessoa de massa 80 kg encontra-se sobre uma balança calibrada em newtons, como mostrado na figura abaixo. Considere $g = 10\ m/s^2$.



Ilustrações: Antonio Robson/Arquivo da editora

a) Determine a intensidade da tração no cabo do elevador, supondo que ele esteja subindo em movimento acelerado com aceleração igual a $2{,}0\ m/s^2$.

b) Nas condições do item **a**, compare a indicação da balança com a intensidade do peso da pessoa.

Resolução:

a) Como o elevador está subindo em movimento acelerado, a intensidade da tração no cabo é maior que a intensidade do peso total (elevador + + pessoa). A intensidade da força de tração no cabo do elevador é obtida na equação da força resultante:

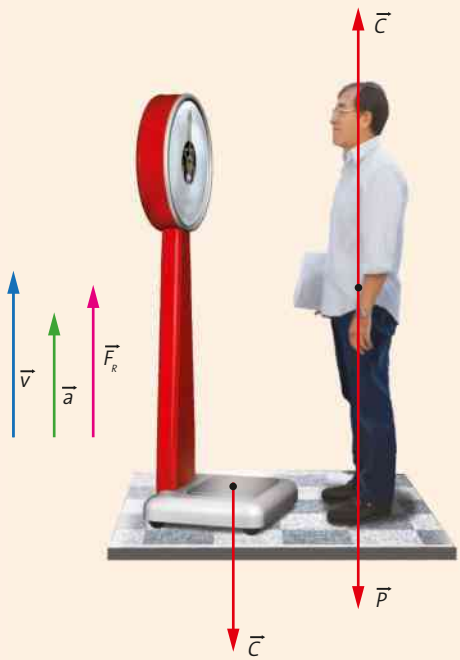
$$F_R = T - P_{total} \Rightarrow m_{total} \cdot a = T - m_{total} \cdot g$$

$$(920 + 80) \cdot 2{,}0 = T - (920 + 80) \cdot 10 \Rightarrow 2\,000 =$$

$$= T - 10\,000 \Rightarrow T = 12\,000\ N$$

A intensidade da tração no cabo do elevador é 12 000 N.

b) A pessoa sobre a balança está sujeita à ação de duas forças: a força peso, vertical para baixo, em razão da interação com a Terra, e a força de contato, vertical para cima, em razão da interação com a balança. Portanto, a balança indica a intensidade da força de contato. Por movimentar-se com o elevador, a pessoa também está em movimento ascendente e acelerado. Logo, a intensidade da força de contato é maior que a da força peso. A figura seguinte ilustra as forças na pessoa, bem como os sentidos da força resultante, da aceleração e da velocidade.

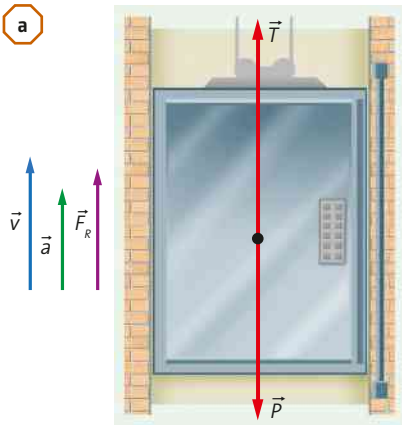


De acordo com o exercício resolvido 2, podemos concluir que, quando utilizamos um elevador, exercemos no piso dele uma força cuja intensidade pode ser maior, menor ou igual à de nosso peso. Quando estamos subindo em movimento acelerado, ou descendo em movimento retardado, a intensidade da força que exercemos no piso é maior que a do nosso peso; se estamos subindo em movimento retardado, ou descendo em movimento acelerado, a intensidade da força que exercemos no piso é menor que a do nosso peso; e, se subimos ou descemos com velocidade constante, a intensidade da força que exercemos no piso é igual à do nosso peso.

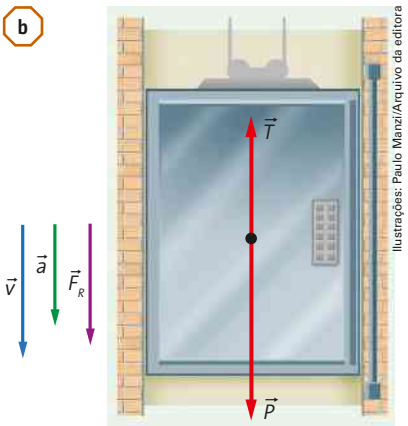
Trabalho em equipe

Na figura seguinte estão esquematizadas as cinco possibilidades para um elevador em movimento.

a

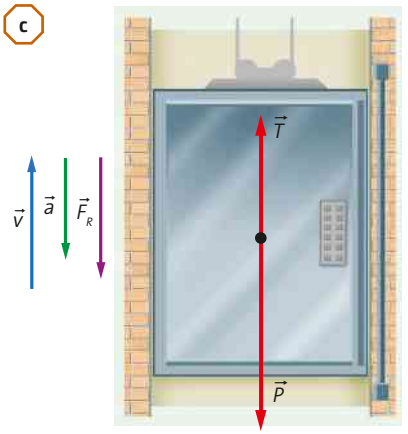


b

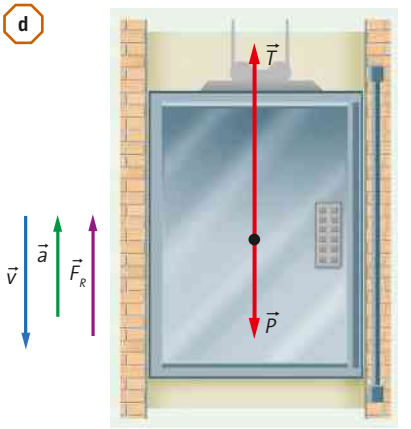


Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

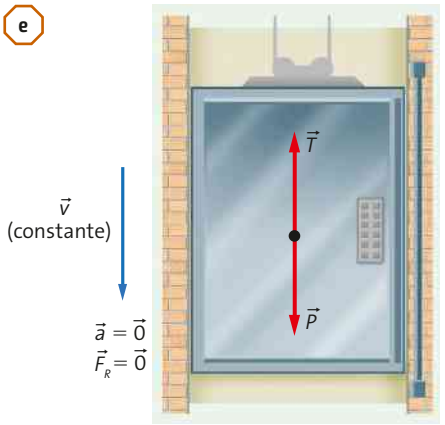
c



d



e



Veja resposta no Manual do Professor.

Para refletir

Somente com base nestas figuras (de **a** a **e**) é possível identificar, em cada uma delas, se o elevador está subindo ou descendo? Justifique.

Com um colega, deduza a equação para a força resultante em cada um dos cinco casos mostrados nas figuras. Discuta os resultados com as demais duplas.

3 Polia fixa e polia móvel

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

Um dispositivo simples e muito útil na construção civil, na arquitetura naval, em aparelhos de ginástica e em motores é a polia, também conhecida como roldana.

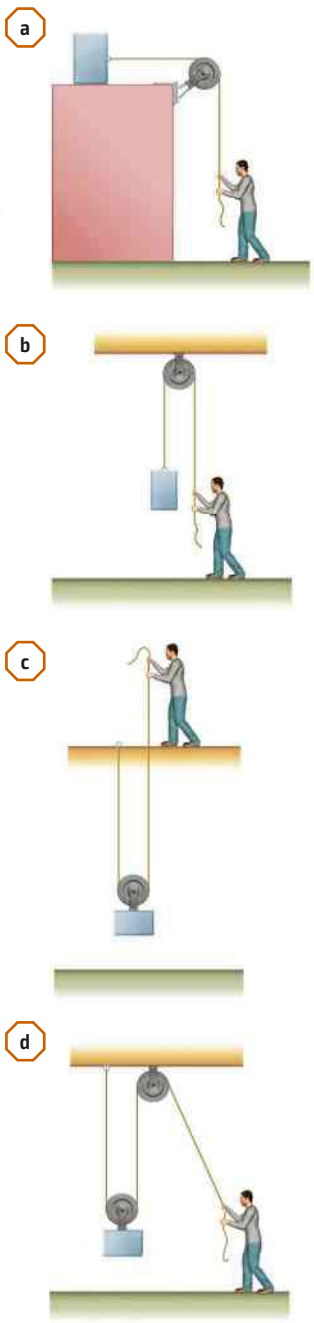
As polias, sejam elas fixas ou móveis, têm como objetivo facilitar a tarefa de marinheiros no manejo dos **velames**, por exemplo. As caravelas de Cabral já possuíam uma grande variedade de polias. Na figura 6.9 mostramos um exemplo de barco que utiliza polias.

Velame – Conjunto de velas de uma embarcação.



Matthew Stockman/Getty Images

Figura 6.9 Em um veleiro, todas as regulagens e manobras de velas são feitas por meio de sistemas de polias, exigindo grande perícia dos velejadores – especialmente em competições de alto nível, como se pode perceber na foto de Robert Scheidt durante uma regata. Rio de Janeiro (RJ), 2015.



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 6.10 Representação (sem escala e em cores fantasia) de diferentes possibilidades de utilização de polias.

As polias fixas têm por finalidade mudar a direção e/ou o sentido de uma força de tração, enquanto as polias móveis possibilitam a realização de uma tarefa com uma força de intensidade menor do que seria necessário sem a sua utilização. Vejamos cada caso mostrado na figura 6.10.

Em 6.10.a e 6.10.b, a polia é fixa: muda a direção e/ou o sentido da força, sem ganho na intensidade. A utilização de uma polia fixa está relacionada à comodidade do operador, e não ao ganho de força: em **a**, a polia muda a direção da tração no fio (a pessoa puxa o fio na vertical e o bloco movimenta-se na horizontal); em **b**, há mudança no sentido (a pessoa puxa o fio para baixo e o bloco movimenta-se para cima).

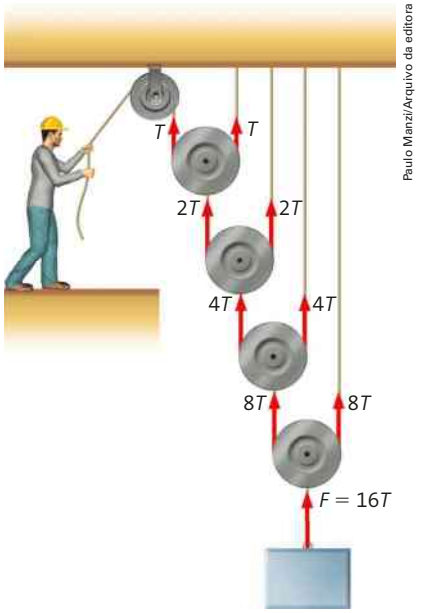
Em 6.10.c, a polia é móvel, e a finalidade é duplicar a intensidade da força aplicada pelo operador. Se o peso do bloco for 80 N, o operador consegue equilibrá-lo com uma força de apenas 40 N. Os outros 40 N são aplicados pelo teto, onde está presa a outra extremidade do fio. Em contrapartida, para que o bloco suba 1,0 m, é preciso que o operador puxe 2,0 m do fio. Utilizando-se uma roldana móvel, o operador aplica somente metade da força que aplicaria diretamente no bloco; em compensação, precisa exercer essa força ao longo de um comprimento de fio que é o dobro da altura que o bloco sobe. Desse modo, a roldana móvel é uma máquina que, em termos práticos, "troca força por distância".

Finalmente, em 6.10.d, temos uma associação de duas polias, uma fixa e outra móvel. Nesse caso, a polia móvel duplica o efeito da força aplicada pelo operador, ao mesmo tempo que a polia fixa facilita o trabalho dele. A polia móvel funciona como a de 6.10.c, e a polia fixa, como a de 6.10.b.

Para o levantamento de blocos muito pesados, podemos utilizar associações de várias polias móveis. A **figura 6.11** ilustra um arranjo, denominado talha exponencial, no qual a intensidade da força aplicada pelo operador é duplicada em cada uma das polias móveis.

Na situação mostrada, o operador consegue equilibrar o sistema com uma força cuja intensidade é $\frac{1}{16}$ do peso do bloco suspenso. Para n polias móveis, a intensidade da força de tração mínima $T_{mín.}$ para elevar um bloco de peso P é dada por:

$$T_{mín.} = \frac{P}{2^n}$$



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 6.11 Representação (sem escala e em cores fantasia) de uma talha exponencial.

Vantagem mecânica

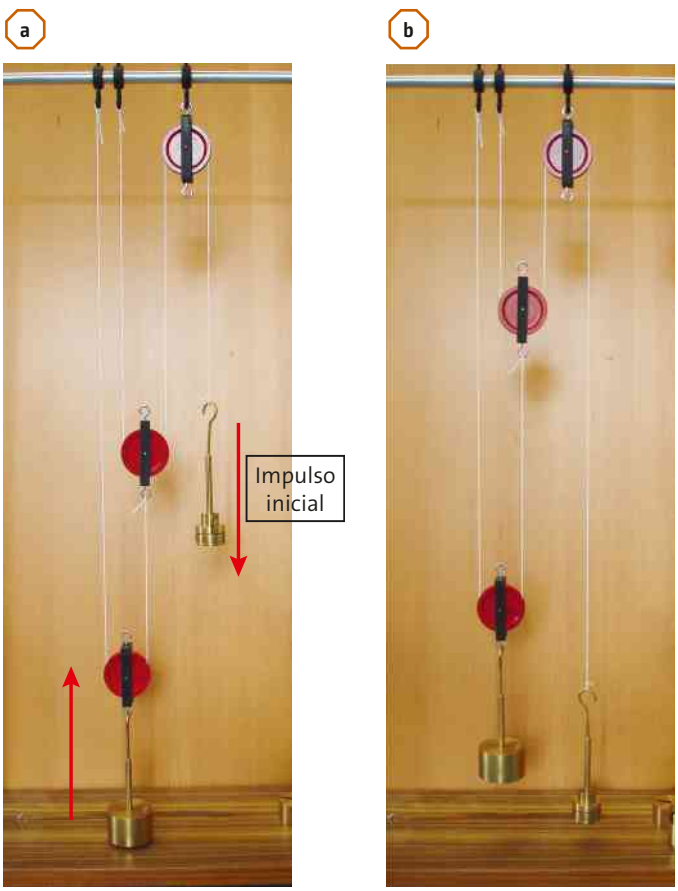
Quando uma polia duplica a intensidade da força aplicada por um operador, dizemos que houve uma **vantagem mecânica** igual a 2, pois a intensidade da força aplicada foi duplicada.

Na **figura 6.12**, temos uma talha exponencial com duas polias móveis e uma polia fixa em duas situações: na **figura 6.12.a**, a carga a ser içada está embaixo, e na **figura 6.12.b**, a carga foi erguida.

Como temos duas polias móveis, a intensidade mínima da força de tração é: $T_{mín.} = \frac{P}{2^2} = \frac{P}{4}$.

Portanto, a vantagem mecânica do sistema representado na figura é igual a 4, pois a intensidade da força aplicada para levantar a carga é quadruplicada, ou seja, essa força equivale a $\frac{1}{4}$ do valor do peso da carga. Na realidade, para iniciar o levantamento da carga, devemos aplicar uma força um pouco maior do que $\frac{1}{4}$ do peso dela e, tendo saído do repouso, o movimento passa a ser uniforme, pois a força é igual à do peso da carga.

Um fato que deve ser observado na figura é que o deslocamento da carga corresponde a $\frac{1}{4}$ do deslocamento do bloco utilizado para levantá-la, o que confirma a ideia de que nesse tipo de arranjo existe a troca da força pela distância.



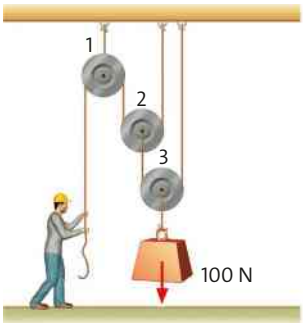
Imagens: Acervo do autor/Arquivo da editora

Figura 6.12 Partindo de um leve impulso inicial, a carga é levantada por um corpo de peso 4 vezes menor que o dela.

Exercícios

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

3. Observe o arranjo com três polias e um bloco de 100 N de peso mostrado na figura seguinte.

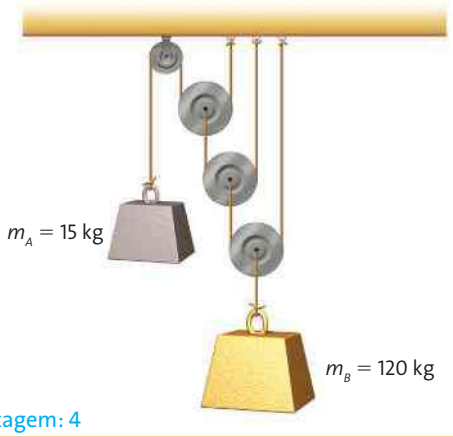


Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

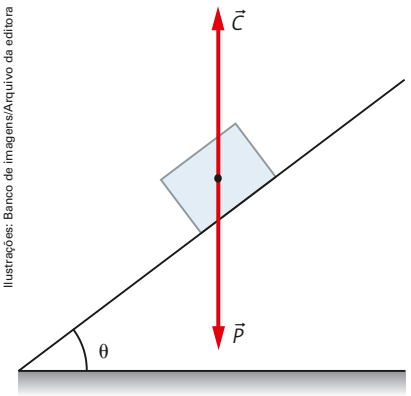
Polia 1: fixa. Polias 2 e 3: móveis.

a) Identifique a(s) polia(s) móvel(is) e a(s) fixa(s).
b) Calcule a intensidade mínima da força que se deve exercer no fio para erguer o bloco. $F = 25$ N
c) Qual é a vantagem mecânica desse arranjo?

4. No sistema de polias mostrado na figura seguinte, determine quantos metros o bloco de 15 kg deve descer para que o de 120 kg suba 1,0 m. $h = 8{,}0$ m



3. c) Vantagem: 4



Ilustrações: Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 6.13 Representação esquemática de um carro em uma rampa. Por facilidade, o carro foi substituído por um bloco e as forças $\vec{P}$ e $\vec{C}$ foram mostradas no mesmo ponto (centro de gravidade do bloco).

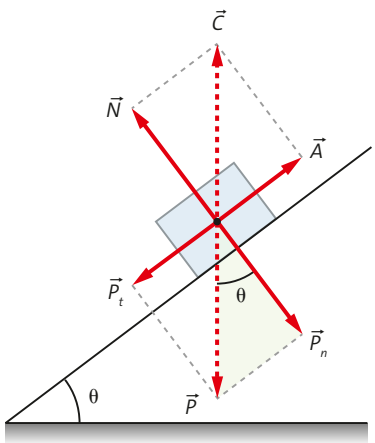


Figura 6.14 Componentes da força peso e da força de contato que atuam sobre um carro (representado por um bloco) em uma rampa.

4 Plano inclinado

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

Um motorista para seu carro em uma ladeira, puxa o freio de estacionamento (freio de mão) para travar as rodas e sai tranquilamente do carro. Por que o carro não entra em movimento, deslizando ladeira abaixo? A esta altura de nosso estudo, certamente a sua resposta será: "Em razão do atrito!".

Para interpretar fisicamente essa situação, vamos tratar o carro como um bloco que se encontra em repouso, apoiado em uma superfície plana, rugosa e inclinada em relação à horizontal (plano inclinado). Nessas condições, o bloco fica sob a ação de duas forças: a força peso $\vec{P}$ e a força de contato $\vec{C}$ com a superfície, conforme mostra a **figura 6.13**.

Como o carro (bloco) está em repouso, as forças peso e de contato se equilibram. A força de contato $\vec{C}$ pode ser representada por suas duas componentes: a força normal $\vec{N}$ e a força de atrito estático $\vec{A}$. O mesmo pode ser feito com a força peso. A **figura 6.14** mostra tanto a decomposição da força de contato como a da força peso, em duas direções perpendiculares entre si: uma delas, paralela ao plano inclinado, e a outra, perpendicular a esse plano.

A intensidade de cada componente da força peso ($\vec{P}_t$ na direção paralela ao plano inclinado, e $\vec{P}_n$ na direção perpendicular a esse plano) é dada por:

$$P_t = P \cdot \operatorname{sen}\theta = m \cdot g \cdot \operatorname{sen}\theta$$
$$P_n = P \cdot \cos\theta = m \cdot g \cdot \cos\theta$$

Independentemente de o bloco estar em repouso ou não, na direção perpendicular ao plano inclinado, a resultante das forças é nula:

$$N = P_n = P \cdot \cos\theta$$

Na direção paralela ao plano inclinado, vamos analisar quatro situações possíveis:

1. **O bloco encontra-se em repouso**

Se o bloco está em repouso, a resultante das forças é nula. A força de atrito estático $\vec{A}_e$ equilibra a componente $\vec{P}_t$ da força peso: $A_e = P_t$.

2. **O bloco encontra-se na iminência de movimento**

Nessas condições, a resultante das forças é nula, mas a intensidade da força de atrito estático é máxima e continua equilibrando a componente P_t da força peso: $A_{máx.} = P_t$.

3. **O bloco desce a rampa em movimento acelerado**

Se o bloco está descendo a rampa em movimento acelerado, temos uma força resultante paralela ao plano inclinado e orientada para baixo, cuja intensidade é dada por:

$$F_R = P_t - A_d \Rightarrow m \cdot a = m \cdot g \cdot \text{sen}\,\theta - \mu_d \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta$$
$$a = g \cdot \text{sen}\,\theta - \mu_d \cdot g \cdot \cos\theta$$

Se o plano inclinado for perfeitamente liso, o coeficiente de atrito será igual a zero, e a aceleração do bloco será dada por:

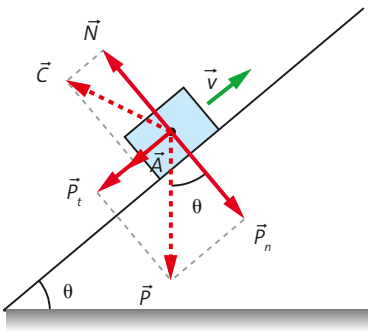
$$a = g \cdot \text{sen}\,\theta$$

4. **O bloco sobe a rampa em movimento retardado**

Neste caso, estamos pressupondo que o bloco tenha sido lançado rampa acima. O diagrama de forças está indicado na **figura 6.15**.

Na direção do movimento, temos:

$$F_R = P_t + A_d \Rightarrow m \cdot a = m \cdot g \cdot \text{sen}\,\theta + \mu_d \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta$$
$$a = g \cdot \text{sen}\,\theta + \mu_d \cdot g \cdot \cos\theta$$



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 6.15 Diagrama de forças correspondente a um bloco que sobe uma rampa em movimento retardado.

Exercícios

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

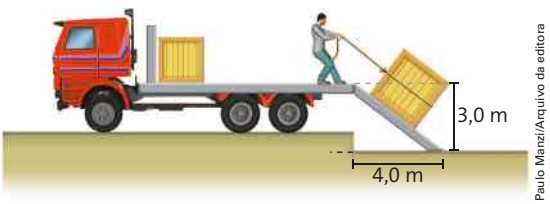
5. Como você justifica o fato de que uma bola colocada em um piso horizontal permanece em repouso, mas colocada em uma rampa entra em movimento? Veja resposta no Manual do Professor.

6. Galileu Galilei realizou uma série de experimentos fazendo bolas rolarem sobre planos inclinados. Com isso, ele minimizava os efeitos da gravidade na queda dos corpos, tornando os movimentos mais lentos.

a) Explique por que o movimento de um corpo num plano inclinado é mais lento do que em queda livre. Veja resposta no Manual do Professor.

b) Suponha que o plano inclinado utilizado por Galileu apresentasse uma inclinação de 15° com a horizontal (sen 15° = 0,26; cos 15° = 0,96). Considerando-se $g = 10\ m/s^2$, qual seria a aceleração máxima da bola descendo o plano? $a = 2{,}6\ m/s^2$

7. Para colocar uma caixa de 50 kg na carroceria de um caminhão, uma pessoa utiliza uma corda e puxa lentamente a caixa, conforme mostra a figura (fora de escala). Adote $g = 10\ m/s^2$.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

a) Admitindo que o coeficiente de atrito entre a caixa e a rampa seja 0,10, determine a intensidade mínima da força exercida pela pessoa na corda para realizar a tarefa. $F = 340\ N$

b) Se a corda arrebentar, a caixa permanece em repouso ou desce a rampa? Considere o coeficiente de atrito entre a caixa e a rampa igual a 0,10. Desce a rampa.



Yuriy Klymenko/Shutterstock/Glow Images

Figura 6.16 A etapa de "navegação" no paraquedismo é a mais longa e com menor velocidade.

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

5 Resistência do ar

As pessoas que praticam o paraquedismo têm a noção exata dos efeitos da resistência do ar. Na modalidade avançada, os saltos acontecem a 12 000 pés de altura (cerca de 3 600 m) e têm uma duração de 6 *a* 7 minutos, desde a saída do avião até o pouso no solo.

O movimento de descida pode ser dividido em duas etapas. A primeira, que os paraquedistas denominam "queda livre", tem a duração aproximada de 1,0 min e acontece com o paraquedas fechado. Nessa etapa, a velocidade de queda atinge valores entre 180 km/h e 240 km/h, dependendo da densidade do ar e de alguns fatores associados ao paraquedista, tais como a massa corporal e a maneira de posicionar o corpo durante a queda.

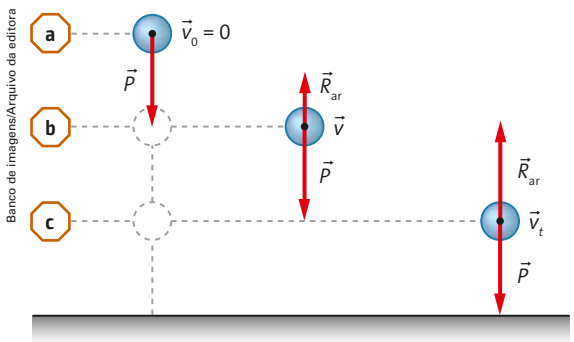
Na segunda etapa, denominada "navegação", temos a abertura do paraquedas (figura 6.16). Nessa etapa, com duração entre 5 e 6 minutos, a velocidade do paraquedista é reduzida pela alta resistência que o ar oferece ao movimento do paraquedas, fazendo com que ele chegue ao solo com velocidade de 15 km/h, aproximadamente.

Vamos nos concentrar na primeira etapa. Do ponto de vista da Física, não se trata exatamente de uma queda livre, visto que, além da força peso, os paraquedistas ficam sujeitos também a uma força que se opõe ao movimento, denominada força de resistência do ar, ou simplesmente **resistência do ar** $\vec{R}_{ar}$.

Deveríamos ainda levar em conta uma outra força, denominada empuxo, que se deve ao fato de os corpos estarem imersos em um fluido – no caso, o ar. Entretanto, para corpos imersos no ar, a intensidade do empuxo normalmente pode ser desprezada em relação ao peso do corpo, como veremos no Capítulo 11.

Além de outros fatores, a intensidade da força de resistência do ar depende da velocidade, *v*, do corpo em relação ao meio. Para entender como essa correlação se verifica, vamos analisar três diferentes fases do movimento de um corpo abandonado em queda no ar.

- No início do movimento, a resistência do ar é nula, pois a velocidade inicial do corpo é nula (figura 6.17.a).
- À medida que a velocidade do corpo aumenta, a intensidade da resistência do ar também aumenta – e continua aumentando enquanto a intensidade da força peso (constante durante a queda) for maior que a intensidade da resistência do ar, em virtude de existir uma força resultante não nula (figura 6.17.b).
- Dependendo da altura de queda, a intensidade da resistência do ar pode igualar-se à intensidade da força peso. Quando isso acontece, a força resultante se torna nula e, portanto, o corpo passa a se movimentar com velocidade constante, chamada de **velocidade terminal** ou **velocidade limite** (figura 6.17.c).



Banco de imagens/Arquivo da editora

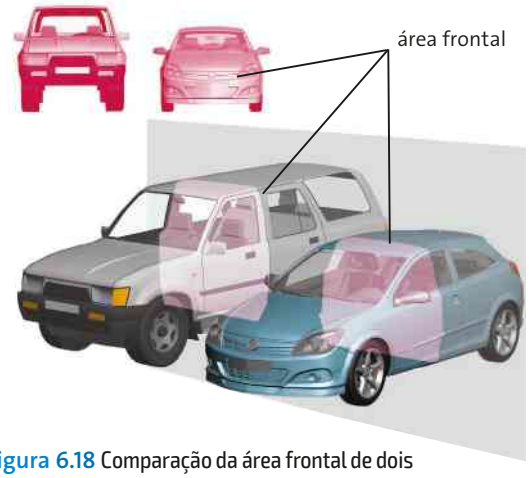
Figura 6.17 Em (**a**), no início do movimento, o corpo está em repouso; (**b**) mostra o instante em que a velocidade do corpo é *v*; em (**c**) a velocidade do corpo é constante, pois $R_{ar} = P$.

No caso específico de corpos em altas velocidades, tais como aviões, paraquedistas em queda (com o paraquedas fechado), automóveis, bolas (em diversos esportes), etc., a intensidade da força de resistência do ar é dada por:

$$R_{ar} = \frac{1}{2} \cdot d \cdot A \cdot C \cdot v^2$$

Essa expressão nos mostra que a influência dos fatores que determinam a intensidade da resistência do ar R_{ar} se dá do seguinte modo:

- nos locais onde o ar é mais rarefeito – isto é, onde a densidade d é menor –, a resistência do ar é menor;
- quanto maior for a área frontal A do corpo (**figura 6.18**), maior será a resistência do ar;
- quanto menor for o coeficiente de arrasto aerodinâmico C do corpo (uma grandeza adimensional, associada à forma do corpo), menor será a resistência do ar;
- a resistência do ar varia com o quadrado da velocidade, isto é, se a velocidade do corpo dobra, a resistência do ar sobre ele quadruplica.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 6.18 Comparação da área frontal de dois automóveis; quanto maior for a área, maior será a resistência do ar. Representação sem escala e em cores fantasia.

Vejamos agora a segunda etapa no paraquedismo. Com a abertura do paraquedas, a resistência do ar assume valores maiores que a intensidade da força peso, reduzindo bruscamente a velocidade de queda. Desse modo, rapidamente a intensidade da resistência do ar volta a se igualar à intensidade da força peso – mas em uma velocidade limite muito menor, fazendo com que o paraquedista desça em segurança. Situação semelhante acontece com as gotas de chuva: em razão da resistência do ar, elas chegam ao solo com velocidades relativamente pequenas, da ordem de 20 km/h.

Exercícios

8. b) A velocidade aumenta até atingir a velocidade terminal, que é mantida constante até o corpo atingir o solo.

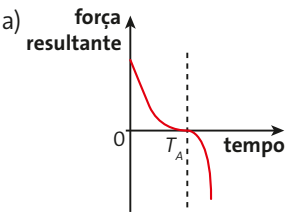
ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

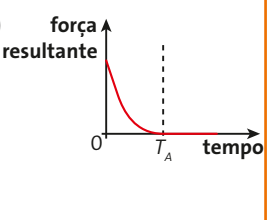
8. Em relação à velocidade de um corpo em queda no ar, responda às questões:

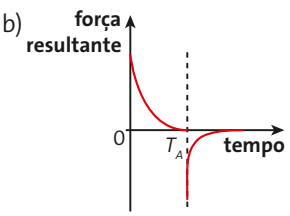
a) Qual a interação responsável pela redução da aceleração na queda? Quais grandezas a influenciam?
Resistência do ar. Densidade, área e velocidade.

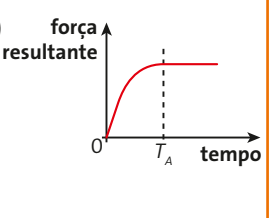
b) O que acontece com a velocidade do corpo antes de ele atingir a velocidade terminal? E após atingir a velocidade terminal?

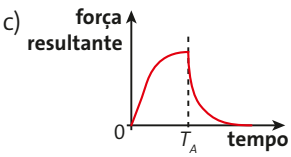
9. (Enem) Em um dia sem vento, ao saltar de um avião, um paraquedista cai verticalmente até atingir a velocidade limite. No instante em que o paraquedas é aberto (instante T_A), ocorre a diminuição de sua velocidade de queda. Algum tempo após a abertura do paraquedas, ele passa a ter velocidade de queda constante, que possibilita sua aterrissagem em segurança. Que gráfico representa a força resultante sobre o paraquedista, durante o seu movimento de queda?

a)


d)


X b)


e)


c)


Ilustrações técnicas: Banco de imagens/Arquivo da editora

Veja comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

Coeficiente aerodinâmico

As imagens desta página não estão representadas em proporção.

Em muitas aplicações práticas, é importante minimizar os efeitos da resistência do ar. A indústria automobilística, por exemplo, tem desenvolvido desenhos de carrocerias que proporcionem aos carros melhor desempenho, economia e estabilidade.

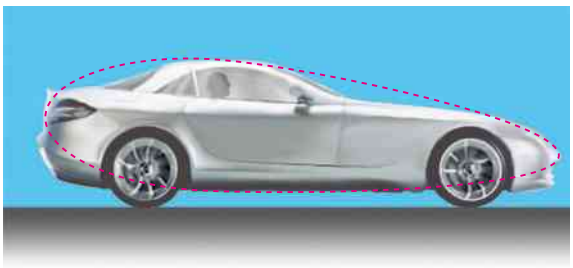
Todo automóvel, quando se desloca, produz no ar uma região de turbulência que dificulta o avanço, mas esse feito pode ser minimizado pelo desenho do carro (chamado nesse contexto de perfil aerodinâmico). A cada perfil está associada uma grandeza adimensional, denominada coeficiente de arrasto aerodinâmico. Para os automóveis, de modo geral, o valor desse coeficiente varia de 0,3 a 0,9. Quanto maior é esse valor, maior é a força de resistência que o ar oferece ao movimento do carro.

Ao lado, vemos um modelo de automóvel cujo perfil apresenta uma boa aerodinâmica. Nesse modelo, a turbulência gerada na parte traseira é reduzida a níveis desprezíveis.

Em competições esportivas, os ciclistas inclinam o corpo para obter a chamada "posição do ovo". Nessa posição, eles conseguem minimizar os efeitos da resistência do ar e, com isso, fazer o percurso em menor tempo. Além da postura, o equipamento do ciclista, como o capacete, o traje e as rodas da bicicleta, também visa reduzir o arrasto aerodinâmico.

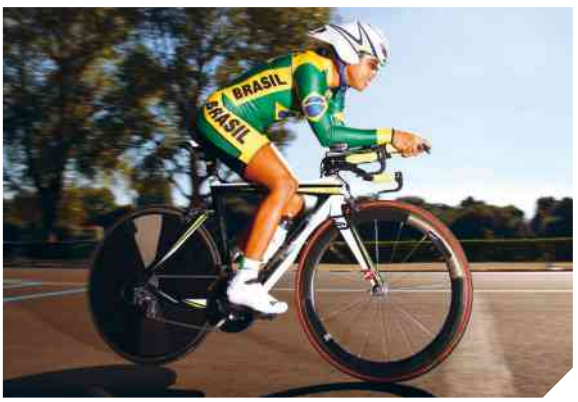
1. Pesquise e compare os coeficientes aerodinâmicos dos principais automóveis comercializados em nosso país e faça uma associação com o consumo de combustível. Elabore um painel com os resultados obtidos.

2. Hoje em dia, muito se tem discutido sobre economia de energia. Com base em sua pesquisa, explique o que a indústria automobilística tem feito a esse respeito.



Antonio Robson/Arquivo da editora

O perfil aerodinâmico interfere no coeficiente de arrasto (atrito) entre o carro e o ar. Representação sem escala e em cores fantasia.



Bryn Lennon/Getty Images

Na "posição do ovo" o atleta minimiza os efeitos da resistência do ar. Clemilda Fernandes Silva, em 2013.

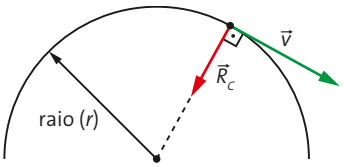
6 Trajetórias curvas

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

Numa curva brusca para a esquerda, por exemplo, os passageiros de um ônibus se sentem "lançados" para a direita. Você concorda com essa afirmativa?

Na realidade, os passageiros não são lançados para a direita devido à mudança na velocidade do ônibus, mas sim porque eles tendem a manter seu movimento original. Por reflexo, ao perceberem que o motorista vai efetuar uma curva, os passageiros procuram interagir com algo que esteja rigidamente ligado ao ônibus, segurando nas barras, por exemplo. Desse modo, eles tentam minimizar o desconforto causado pela curva.

Vamos supor que o ônibus efetue uma curva em movimento circular e uniforme. Nessa situação, o módulo da velocidade permanece constante, mas a direção e o sentido variam. Então, de acordo com as leis de Newton, a força resultante no ônibus não pode ser nula e, como não há alteração no módulo da velocidade, ela só pode ser perpendicular ao vetor velocidade, como mostra a **figura 6.19**.



Banco de imagens/ Arquivo da editora

Figura 6.19 O vetor velocidade possui módulo constante, mas muda de direção a cada ponto da trajetória. Isso indica que a força resultante é perpendicular ao vetor velocidade.

Observe que o vetor velocidade é tangente à curva. Desse modo, o vetor força resultante, sendo perpendicular ao vetor velocidade, está sempre orientado para o centro da curva. Quando apresenta essa característica, a força resultante é denominada **resultante centrípeta**, que representamos por $\vec{R}_c$.

Destacamos que a resultante centrípeta não é um novo tipo de força. Do mesmo modo que as forças resultantes em geral, a resultante centrípeta é apenas a soma vetorial das forças que efetivamente estão agindo em um corpo.

Podemos relacionar a intensidade da resultante centrípeta R_c com a velocidade v e com o raio da curva r por meio da expressão:

$$R_c = m \cdot a_c = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Nessa expressão, m é a massa (em kg) do corpo que descreve o movimento; v é a velocidade do corpo (em m/s); r é o raio da curva (em metros); a_c é a aceleração centrípeta (em m/s^2); e R_c é a resultante centrípeta (em newtons).

Em seguida, apresentamos algumas aplicações das leis de Newton às trajetórias curvas.

Trajetórias curvas em planos horizontais

Com a finalidade de testar a capacidade e a perícia dos pilotos, as pistas de corrida de carros apresentam várias curvas, com diferentes raios de curvatura. Para analisar como os carros se comportam nas curvas, vamos iniciar com as curvas planas, ou seja, as que não apresentam inclinação.

Na **figura 6.20**, vemos um carro descrevendo uma **curva sem inclinação** e as forças que agem sobre ele. Observe que a força de contato entre o carro e a pista foi representada pelas suas componentes – normal e atrito.

Paulo Manzi/Arquivo da editora

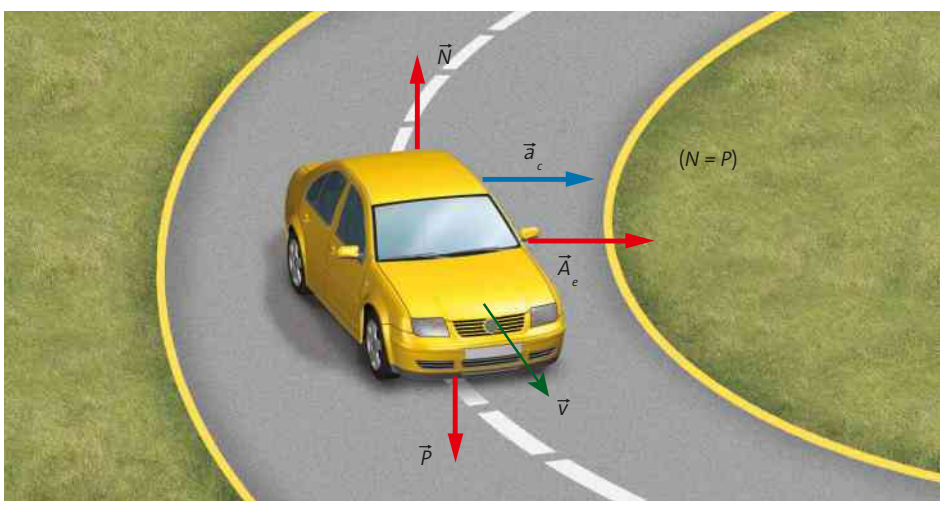


Figura 6.20 Representação das forças que agem em um automóvel que se movimenta em uma curva plana.

Nesse caso, como a força resultante deve ser horizontal e orientada para o centro da curva, as forças verticais, peso e normal, se equilibram. Então, a força de atrito estático $\vec{A}_e$ faz o papel de resultante centrípeta:

$$R_c = A_e = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Sendo assim, é a força de atrito que mantém o carro na trajetória curva, alterando a direção e o sentido da velocidade. Entretanto, há um limite de velocidade para que a força de atrito seja suficiente para causar esse efeito. Esse limite depende do coeficiente de atrito entre os pneus e o asfalto, do raio da trajetória e da aceleração da gravidade no local. A velocidade máxima que o carro pode ter em uma curva plana, sem derrapar, é determinada considerando-se o carro na iminência de escorregar para fora da curva. Nessa situação, a força de atrito estático é máxima. Logo, temos:

$$A_{máx.} = \mu_e \cdot N = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Sendo $N = P = m \cdot g$, obtemos:

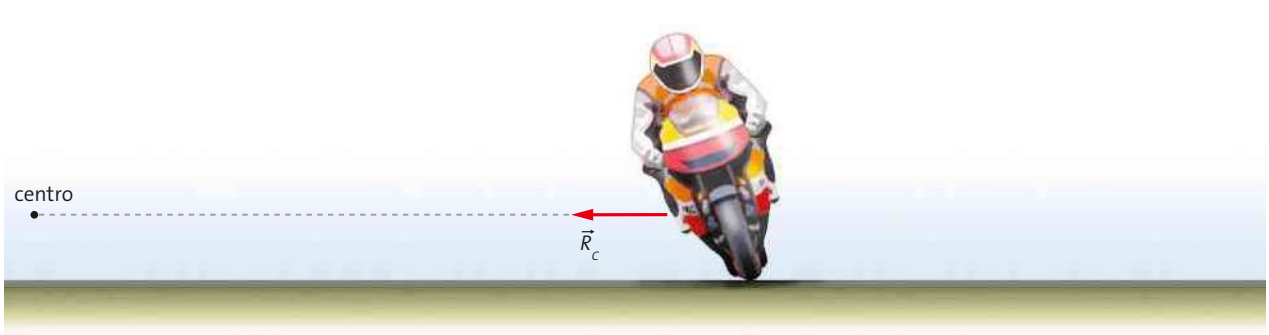
$$\mu_e \cdot m \cdot g = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Nessa expressão, v é a velocidade máxima do carro, dada por:

$$v_{máx.} = \sqrt{\mu_e \cdot r \cdot g}$$

De acordo com a expressão acima, quanto maior o raio da curva (curva aberta), maior a velocidade máxima do carro; em curvas fechadas (menor raio de curvatura), a velocidade máxima é menor.

Essa mesma conclusão pode ser aplicada ao caso de uma motocicleta descrevendo uma curva: a força de atrito é a resultante centrípeta (**figura 6.21**).



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 6.21 Representação da força resultante na motocicleta: resultante centrípeta $\vec{R}_c$.

O motociclista tem duas maneiras de direcionar o atrito para o centro da curva: girando o guidão (em baixas velocidades ou em curvas bem abertas) ou inclinando a moto – o que é mais recomendável, por razões de equilíbrio – para fazer curvas mais fechadas em velocidades maiores.

Vejamos, agora, as **curvas com inclinações**, isto é, aquelas em que a parte externa da curva é mais alta do que a parte interna. Nesse caso, é possível a um carro efetuar a curva independentemente do atrito.

Para que a composição de forças resulte em uma resultante apontando para o centro da curva (resultante centrípeta), ela deve obedecer ao diagrama de forças mostrado na **figura 6.22**.

Com base na composição de forças mostrada nessa figura, escrevemos:

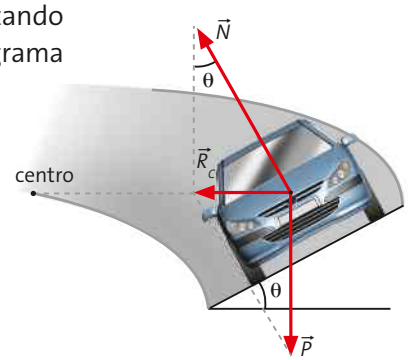
$$\text{tg}\,\theta = \frac{R_c}{P} = \frac{\frac{m \cdot v^2}{r}}{m \cdot g}$$

Nessa expressão, obtemos o valor da velocidade do carro na curva:

$$v^2 = r \cdot g \cdot \text{tg}\,\theta \Rightarrow v = \sqrt{r \cdot g \cdot \text{tg}\,\theta}$$

Na curva, se o motorista mantiver a velocidade conveniente, ele não precisará girar o volante para alterar a direção do movimento. Para ultrapassar pelo lado de fora da curva, basta acelerar o carro sem virar o volante.

Entretanto, se ele quiser aumentar a velocidade e permanecer no mesmo nível horizontal, deve girar o volante para dentro da curva. Nesse caso, ele usa a força de atrito para impedir que o carro se dirija para fora da trajetória pretendida.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 6.22 Determinação da força resultante $\vec{R}_c$ sobre o carro.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Exercícios

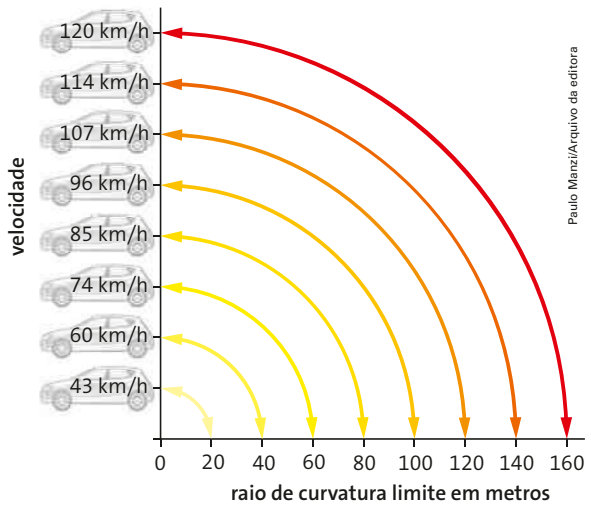
Veja resposta no Manual do Professor.

10. Um satélite artificial encontra-se em movimento circular e uniforme em torno da Terra sob a ação de uma única força, devida à atração gravitacional da Terra.

a) Que efeito a força gravitacional produz no movimento do satélite? A força gravitacional faz o papel de resultante centrípeta.

b) O que acontece com o satélite se, em determinado instante, a atração gravitacional entre a Terra e ele deixar de existir? O satélite continua em movimento uniforme, mas em trajetória retilínea.

11. O diagrama seguinte apresenta o raio de curvatura limite para evitar a derrapagem de um carro, em função de sua velocidade, em uma curva sem inclinação e com o asfalto em boas condições.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Fonte: MOTO Perpétuo – A segurança através da ciência e da educação. MEC/Fiat para a Escola.

a) Explique por que, quando dobramos o raio de curvatura limite, a velocidade não dobra.

b) O coeficiente de atrito estático usado para a construção do diagrama é constante ou variável? Justifique. É praticamente constante e igual a 0,70.

12. Na foto, vemos alguns carros de corrida em um trecho circular de uma pista com elevação.


Daniel Huerlimann-BEELDE/Shutterstock

Em relação aos dois carros que estão praticamente emparelhados, analise as afirmações a seguir e reescreva, em seu caderno, aquelas que você julgar incorretas, corrigindo-as.

I. Como eles estão em níveis diferentes, obrigatoriamente suas velocidades são diferentes.

II. Somente o carro do lado de fora da curva está acelerado.

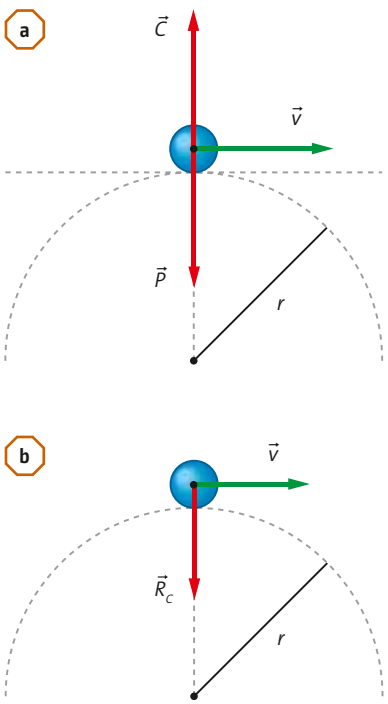
III. Se o carro que está do lado de dentro da curva brecar, o piloto deverá girar o volante para dentro da curva para se manter no mesmo nível horizontal.

As três afirmativas são falsas. Veja a resposta completa no Manual do Professor.



nulinukas/Shutterstock

Figura 6.23 As lombadas são elementos que controlam a velocidade dos carros. Se um veículo em alta velocidade passar sobre uma lombada pode danificar a suspensão.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 6.24 Representação das forças que agem nas rodas dianteiras do veículo no ponto mais alto da lombada. Em (**a**), peso $\vec{P}$ (metade do peso total do veículo) e contato $\vec{C}$. Em (**b**), a força centrípeta $\vec{R}_c$ (resultante). A velocidade $\vec{v}$ é representada em verde.

Trajetórias curvas em planos verticais

Vamos analisar agora algumas situações do cotidiano em que podemos observar trajetórias curvas em um plano vertical, como ocorre quando um carro passa em uma lombada ou por uma depressão. Comecemos com um carro passando por uma **lombada**, conforme mostra a figura 6.23.

A lombada impõe ao carro uma trajetória curva e, consequentemente, uma força resultante não nula. Nessas condições, a força de compressão (contato) que cada roda exerce sobre a lombada é menor do que a parcela do peso do carro sustentada por ela – e, de acordo com a lei da ação e reação, a força de compressão que a lombada exerce em cada roda é menor do que a força peso que a roda aplica na lombada. Essa conclusão se baseia no fato de que a força resultante deve, necessariamente, apontar para o centro da curva.

Considerando também que as rodas dianteiras suportam metade do peso do carro e encontram-se no ponto mais alto da lombada, temos na figura 6.24 os diagramas de forças correspondentes.

A intensidade da resultante centrípeta R_c é dada por:

$$R_c = P - C \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot g - C$$

E a intensidade da força de compressão C que o carro exerce na pista é:

$$C = m \cdot \left(g - \frac{v^2}{r}\right)$$

De acordo com essa expressão, quanto maior a velocidade do carro ao passar pelo ponto mais alto da lombada, menor a compressão que ele exerce no solo e, na iminência de perder o contato com a pista, a força de compressão é zero. Nessas condições, temos:

$$C = 0 \Rightarrow g - \frac{v^2}{r} = 0$$

Assim, obtemos:

$$v = \sqrt{r \cdot g}$$

Essa expressão nos fornece a velocidade do carro para a qual a força de compressão que ele exerce na pista é nula.

Vamos analisar agora o caso de um carro passando por uma **depressão**. Para limitar a velocidade dos carros em ruas e cruzamentos, é comum a utilização de uma depressão, também conhecida como valeta, no lugar de uma lombada.

Na depressão, o ponto crítico é o ponto mais baixo da trajetória, ou seja, a partir desse ponto, o carro começa a subida. Observe que, nessa situação, podemos afirmar que a força de compressão que as rodas dianteiras do carro exercem sobre o solo é maior que a parcela do peso do carro que elas sustentam. Não podemos esquecer que a força resultante deve, necessariamente, apontar para o centro da curva.

Como a resultante centrípeta deve apontar para o centro da curva (figura 6.25), sua intensidade é dada por:

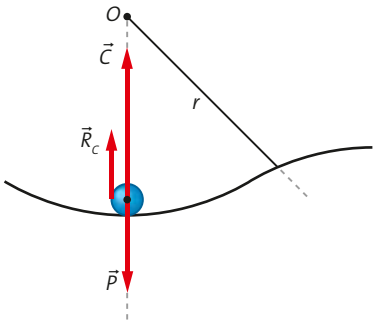
$$R_c = C - P \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{r} = C - m \cdot g$$

E a intensidade da força de compressão C que o carro exerce na pista é:

$$C = m \cdot \left(g + \frac{v^2}{r}\right)$$

De acordo com essa expressão, quanto maior a velocidade do carro ao passar pelo ponto crítico da depressão, maior será a sua compressão sobre o piso, e maior a força de compressão do piso sobre o carro. Assim, velocidades altas fazem com que ambos, carro e piso, sejam sobrecarregados.

O mesmo acontece em pistas de *skate*, chamadas *half pipe* (figura 6.26).



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 6.25 Forças agindo nas rodas dianteiras do veículo ao passar por uma depressão: peso $\vec{P}$ (metade do peso total do veículo) e contato $\vec{C}$.

Adriano Lima/Fotoarena/Folhapress



Figura 6.26 No *half pipe* as forças são as mesmas das depressões.

Globo da morte

Nos grandes circos, um dos números que mais prende a atenção do público é o chamado globo da morte. Nessas apresentações, o ponto culminante é quando o motociclista, com sua moto, executa círculos verticais em um globo, conforme mostra a figura 6.27.

Para o ponto inferior do globo, vale o mesmo raciocínio que utilizamos para analisar a passagem de um carro por uma depressão. O ponto crítico do movimento é o ponto superior do globo, isto é, o ponto mais alto da trajetória. Nesse ponto, como as forças peso e de contato são orientadas para baixo, a força resultante é para baixo e orientada para o centro do globo (figura 6.28).

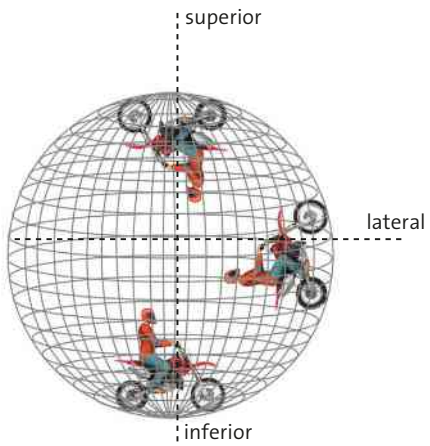


Figura 6.27 Representação (sem escala e em cores fantasia) da motocicleta em movimento no globo da morte.

Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

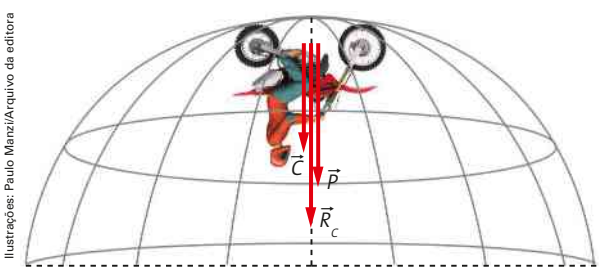


Figura 6.28 Representação (sem escala e em cores fantasia) das forças na moto e a força resultante centrípeta na parte superior do globo da morte.

Veja resposta no Manual do Professor.

Para refletir

Se as duas forças são para baixo, por que a moto não cai?


Rachael Grazias/Shutterstock/Glow Images

Figura 6.29 Carrinho completando o *looping* em uma montanha-russa.

Nesse caso, a intensidade da resultante centrípeta é dada pela soma das intensidades das forças peso e de contato:

$$R_c = C + P \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{r} = C + m \cdot g$$

A moto estará na iminência de cair quando a força de contato for nula, pois sua intensidade diminui à medida que a moto passa pelo ponto superior com velocidade cada vez menor. Assim, existe uma velocidade mínima com que a moto pode passar por esse ponto sem cair. Essa velocidade é obtida considerando-se a força de contato nula – situação em que a força resultante é a força peso. Nessas condições, temos:

$$R_c = P \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot g$$

Dessa expressão, concluímos que a velocidade mínima para a moto passar pelo ponto mais alto do globo da morte sem cair é dada por:

$$v_{mín.} = \sqrt{r \cdot g}$$

Podemos aplicar esse mesmo raciocínio às montanhas-russas que apresentam *looping*, como mostrado na **figura 6.29**.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Exercícios

13. A figura a seguir mostra o exato momento em que as rodas dianteiras de um carro iniciam a transposição de uma lombada (quebra-molas).


©Mark Azavedo/Alamy

Considere que as rodas dianteiras suportam metade do peso do carro e encontram-se no ponto mais alto da lombada. Analise as afirmações a seguir e reescreva, em seu caderno, aquelas que você julgar incorretas, corrigindo-as. Somente II está correta. Veja o complemento da resposta no Manual do Professor.

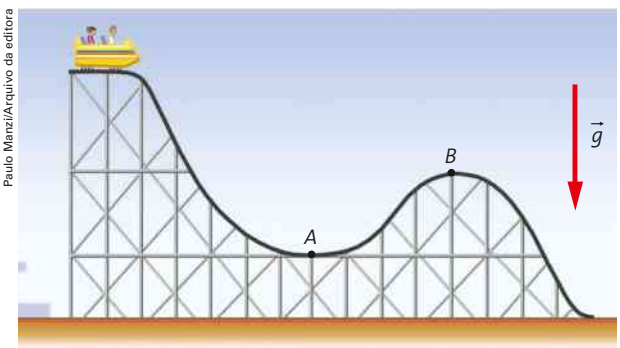
I. A intensidade da força de compressão que as rodas dianteiras exercem sobre a lombada é maior do que a metade da intensidade da força peso do carro.

II. Quanto maior for a velocidade do carro ao passar pela lombada, menor será a compressão que as rodas exercerão sobre o ponto de contato.

III. Ao passar por esse ponto, o carro pode não apresentar aceleração.

IV. A intensidade da força de compressão que as rodas dianteiras exercem sobre a lombada é sempre maior que zero e menor do que a intensidade do peso do carro.

14. Um carrinho parte do repouso do alto de uma montanha-russa, conforme mostra a figura a seguir (sem escala e em cores fantasia).



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Sabe-se que os raios de curvatura da pista em *A* e em *B* são iguais, e que a velocidade do carrinho em *A* é maior do que em *B*. Despreze os atritos.

a) Em qual dos pontos, *A* ou *B*, a intensidade da resultante centrípeta é maior? No ponto *A*.

b) Em qual deles o carrinho exerce nos trilhos uma força de intensidade maior que a intensidade do seu próprio peso? No ponto *A*.

Experimento

Veja comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

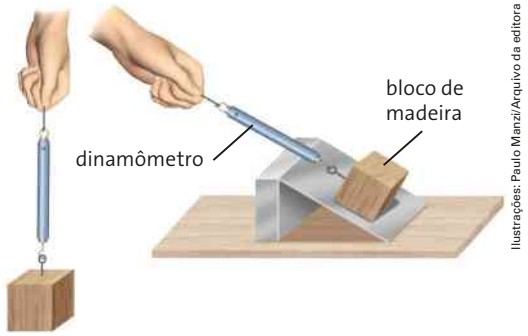
Coeficiente de atrito estático

Nesta atividade prática você vai utilizar os conhecimentos e competências adquiridos neste capítulo para determinar o coeficiente de atrito estático entre um bloco e uma prancha. Para isso, vamos propor a análise de duas situações-problema.

Situação 1

Cada grupo deve utilizar os seguintes materiais: um bloco de madeira, uma prancha de madeira (ou de metal) e um dinamômetro. De preferência, cada grupo deve utilizar como dinamômetro a mola calibrada na atividade prática do capítulo anterior. Caso não seja possível, é necessária a calibração da mola, seguindo as orientações daquela atividade.

Converse com seu grupo sobre o significado de cada uma das montagens apresentadas nas figuras a seguir. Qual é a função de cada uma delas? A indicação do dinamômetro é a mesma nas montagens?



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

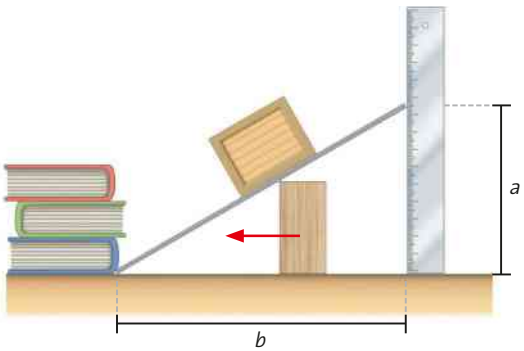
As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

Figura 1 Figura 2

Considerando que, na segunda figura, o bloco de madeira encontra-se na iminência de movimento, é possível a determinação do coeficiente de atrito estático entre ele e a prancha de madeira? Em caso positivo, explique. Em caso negativo, justifique.

Situação 2

Com os mesmos materiais, analise com seu grupo a montagem apresentada na figura a seguir: o bloco é colocado sobre a prancha formando um plano inclinado.



Representação do experimento

Como podemos variar a inclinação da rampa e deixar o bloco na iminência de movimento?

Faça no caderno o diagrama de forças que agem no bloco. Efetuando-se, com a régua milimetrada, as medidas *a* e *b* indicadas na figura, com o bloco na iminência de movimento, é possível a determinação do coeficiente de atrito estático entre ele e a prancha? Em caso positivo, calcule. Em caso negativo, justifique.

Compare seus resultados com os dos demais grupos.

Em construção

Veja comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

Os físicos e as leis do atrito

O artista, inventor e cientista italiano Leonardo da Vinci foi quem primeiro realizou experiências para estudar o atrito, por volta de 1500. Os resultados dessas experiências [...] podem ser resumidos nas seguintes leis:

1) O atrito provocado pelo mesmo peso terá a mesma resistência no início do movimento, embora as áreas ou comprimento de contato sejam diferentes;
2) O atrito provoca o dobro do esforço se o peso for dobrado;
3) O atrito depende da natureza dos materiais em contato.

[...] Um novo resultado sobre as leis do atrito foi obtido pelo físico francês Charles Augustin Coulomb. Em 1781, ele apresentou à Academia Francesa de Ciências uma *Mémoire* intitulada *Théorie des Machines Simples*, na qual descreveu as experiências que realizou sobre atrito, em decorrência das quais confirmou as três leis de Da Vinci-Amontons, bem como afirmou o que hoje se conhece como a quarta lei do atrito:

4) A força de atrito é independente da velocidade, uma vez o movimento iniciado.

Desse modo, mostrou que havia uma diferença entre o atrito estático e o atrito dinâmico.

SEARA DA CIÊNCIA: CURIOSIDADES DA FÍSICA. *O Atrito*. Disponível em: <www.seara.ufc.br/folclore/folclore109.htm>. Acesso em: 1º out. 2015.



De Agostini Picture Library/The Bridgeman Art Library/Keystone/Museu Cívico dos Ermitãos, Pádua, Itália.

Retrato de Leonardo da Vinci. Óleo sobre tela (24,9 cm × 29,9 cm), de Lattanzio Querena. Museu Cívico dos Ermitãos, Pádua, Itália.



Joseph Marius Ramus/The Bridgeman/Keystone

Busto de Charles Coulomb.

Leonardo di Ser Piero da Vinci, mais conhecido como Leonardo da Vinci, nasceu em Anchiano, na região de Florença, na Itália, em 15 de abril de 1452, e faleceu em Amboise, na França, em 2 de maio de 1519. Foi considerado um verdadeiro **polímata**, pois se destacou como cientista, matemático, engenheiro, inventor, pintor, escultor, arquiteto, botânico, poeta e músico.

Ainda hoje, Da Vinci é considerado um dos maiores pintores de todos os tempos. Duas de suas obras, *Mona Lisa* e *A Última Ceia*, estão entre as pinturas mais famosas. Além das pinturas, Leonardo se destacou pela engenhosidade tecnológica com suas teorias e inventos, além de possuir um grande conhecimento nos campos da Anatomia, da Engenharia Civil, da Mecânica, da Óptica e da Hidrodinâmica.

Polímata – Indivíduo que estuda ou que conhece muitas ciências.

Charles Augustin de Coulomb, engenheiro e físico francês, nasceu em Angoulême, em 14 de junho de 1736, e faleceu em Paris, em 23 de agosto de 1806. Coulomb estudou no Colégio Mazarin, em Paris, onde recebeu uma boa formação em Línguas, Literatura, Filosofia, Matemática, Astronomia, Química e Botânica.

Em 1781, ingressou na Academia Francesa de Ciências, em virtude de artigos publicados que tiveram grande repercussão. Em um desses artigos, intitulado *Teoria das máquinas simples*, Coulomb apresentou suas experiências e destacou as diferenças entre o atrito estático e o atrito dinâmico. Esses estudos contribuíram significativamente para o desenvolvimento do estudo científico do atrito, tanto que Coulomb é considerado por muitos o criador desse campo de estudo.

O grande reconhecimento ao trabalho de Coulomb, porém, veio de suas pesquisas sobre a eletricidade e o magnetismo. Entre 1777 e 1785, Coulomb publicou uma série de tratados, entre os quais se destacam suas experiências sobre a força elétrica. Em sua homenagem, a unidade de carga elétrica recebeu o nome de **coulomb** (**C**).

- Segundo Marie Curie (Madame Curie), prêmio Nobel em 1903 e 1911, "Uma grande descoberta não brota do cérebro de um cientista pronta e acabada, como Minerva saltando plenamente armada da cabeça de Júpiter; ela é fruto de um acúmulo de trabalho preliminar.".
  Em sua opinião, a frase de Marie Curie se aplica ao trabalho de Coulomb? Justifique.

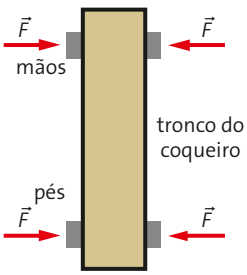
Retomando

Veja atividades complementares sobre o assunto deste capítulo no Manual do Professor.

15. (UFPB) Na cidade de Sousa, no sertão paraibano, é comum agricultores subirem, sem ajuda de equipamentos, em coqueiros. Para descer, um determinado agricultor exerce forças com suas mãos e pés sobre o coqueiro, de modo a descer com velocidade constante. (Veja a figura esquemática abaixo.)



Anouk Garcia/Tyba



Considerando que cada membro, pés e mãos desse agricultor, exerce uma força F perpendicular ao tronco do coqueiro, e que o coeficiente de atrito entre os membros e o tronco do coqueiro é μ, identifique as afirmativas corretas:

X I. A força normal exercida pelo tronco em cada membro do agricultor tem módulo igual a F.

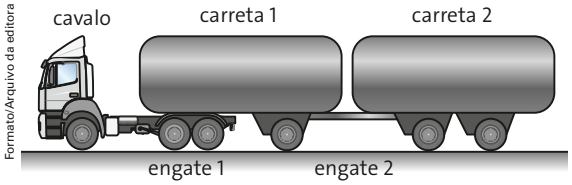
II. O atrito é estático, pois a aceleração é nula.

X III. A força de atrito é paralela ao tronco e orientada para cima.

X IV. O peso do agricultor é $P = 4\,\mu F$.

V. A velocidade escalar do agricultor, imediatamente antes de chegar ao solo, diminuirá, se o coeficiente de atrito diminuir.

16. (Ufscar-SP) Com motores mais potentes, caminhões com duas carretas têm se tornado muito comuns nas estradas brasileiras.



Formato/Arquivo da editora

O caminhão esquematizado acelera uniformemente com aceleração de valor a. Nessas condições:

- o motor do cavalo aplica sobre o conjunto uma força constante de intensidade F;
- a interação entre as partes unidas pelos engates 1 e 2 tem intensidades respectivamente iguais a f_1 e f_2;
- as massas do cavalo, da carreta número 1 e da carreta número 2 são, nessa ordem, m, m_1 e m_2;
- a resistência do ar ao movimento da carreta pode ser considerada desprezível.

a) Construa no caderno a expressão, em termos das forças indicadas, que determina a intensidade da força resultante no primeiro engate, enquanto a carreta é mantida sob aceleração constante.

b) Alguns motoristas arriscam muito quando se trata de segurança. Uma ação perigosa é "andar na banguela", isto é, com as rodas livres, sem a marcha engatada. Supondo desprezíveis os atritos nos mancais do caminhão durante uma "banguela", determine a velocidade que uma dessas carretas atingiria no ponto mais baixo de um vale, após ter iniciado a descida, a partir do repouso, de um ponto a 45 m de altura, relativamente ao fundo do vale. Considere $g = 10\ m/s^2$. 30 m/s

17. (Enem) O Brasil pode se transformar no primeiro país das Américas a entrar no seleto grupo das nações que dispõem de trens-bala. O Ministério dos Transportes prevê o lançamento do edital de licitação internacional para a construção da ferrovia de alta velocidade Rio-São Paulo. A viagem ligará os 403 quilômetros entre a Central do Brasil, no Rio, e a Estação da Luz, no centro da capital paulistana, em uma hora e 25 minutos.

Disponível em: <http//oglobo.com>. Acesso em: 14 jul. 2009.

Em razão da alta velocidade, um dos problemas a ser enfrentado na escolha do trajeto que será percorrido pelo trem é o dimensionamento das curvas. Considerando-se que uma aceleração lateral confortável para os passageiros e segura para o trem seja de 0,1 g, em que g é a aceleração da gravidade (considerada igual a $10\ m/s^2$), e que a velocidade do trem se mantenha constante em todo o percurso, seria correto prever que as curvas existentes no trajeto deveriam ter raio de curvatura mínimo de, aproximadamente:

a) 80 m.
b) 430 m.
c) 800 m
d) 1600 m.
X e) 6400 m.

16. a) $f_1 = F \cdot \dfrac{m_1 + m_2}{m_1 + m_2 + m}$

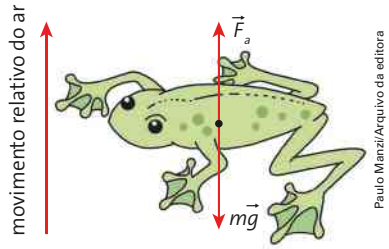
Compreendendo o Mundo

Timothy Laman/National Geographic/Getty Images



Sapo "voador" de Bornéu.

Viscosidade – Resistência que todo fluido oferece ao movimento relativo de qualquer uma de suas partes; atrito interno de um fluido.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Forças que atuam durante a queda do sapo "voador": peso e resistência do ar.

O voo

Paraquedismo

Alguns animais desenvolvem, em algumas regiões do corpo, o **patágio**, uma membrana que é utilizada como "asa" ou como um "paraquedas". Em razão disso, como no paraquedismo, eles saltam em queda livre. Ao saltarem, rapidamente atingem uma velocidade constante. Um exemplo de animal que desenvolveu essa membrana é o sapo "voador" de Bornéu (*Rhacophorus dulitensis*). A evolução da membrana está relacionada com o *habitat*, que, no caso do sapo de Bornéu, é o topo de árvores.

Mas como funciona o movimento do sapo?

Durante a queda qualquer corpo fica sujeito a duas forças: a força peso ($P = m \cdot g$) e a resistência do ar ($R_a = \kappa \cdot \eta \cdot \rho \cdot A \cdot v^n$), em que κ é uma constante característica do paraquedas, η é a **viscosidade** do meio, ρ é a densidade do meio, A é a área do paraquedas, v é a velocidade do animal e n é um fator que depende dessa velocidade: se ela for baixa, $n \simeq 1$; se for alta, $n \simeq 2$.

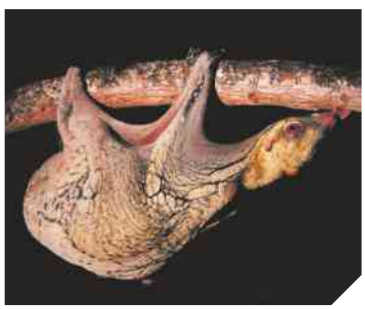
A força resultante é dada pela diferença entre essas forças, ou seja, $F_r = P - R_a$. Enquanto P for maior que R_a o movimento do animal é acelerado.

Planeio

Certos animais utilizam o patágio para planar. Alguns exemplos são o colugo (*Cynocephalus variegatus*) e o esquilo "voador" (*Glaucomys volans*), que saltam de árvore em árvore para fugir de predadores e buscar alimentos.

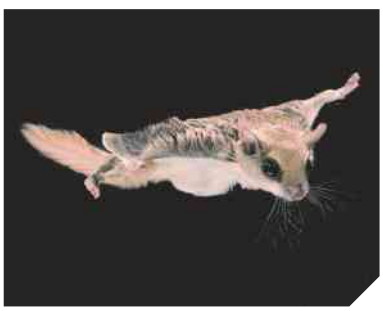
Quando o animal está planando, as forças que agem nele são a aerodinâmica (resultante da composição das forças: resistência do ar e sustentação) e o peso.

Tara-Leigh Dallas/Alamy/Other Images

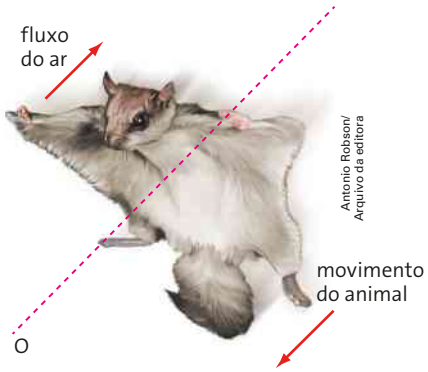


Colugo, também conhecido como galeopiteco da Malásia.

Philip Dalton/Alamy/Other Images



Esquilo "voador".



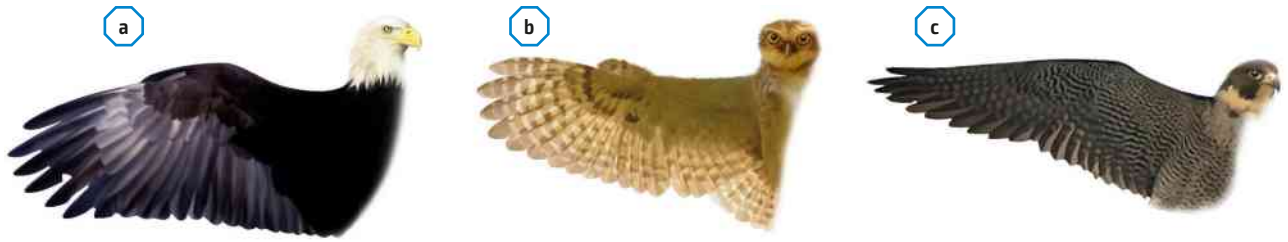
Antonio Robson/Arquivo da editora

O galeopiteco da Malásia pode planar por mais de 100 m.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Voo propulsionado

No voo propulsionado, as formas do corpo e da asa do animal são fundamentais. Além disso, a eficiência do voo depende do tamanho das asas. Na figura, vemos diferentes formatos de asas de aves de rapina.



Ilustrações: Antonio Robson/ Arquivo da editora

Formatos das asas de aves de rapina

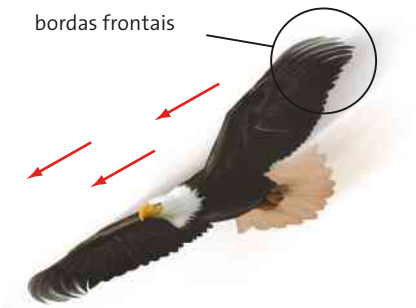
A mudança de posição das asas altera a velocidade do voo. Para ter maior velocidade, a ave vira as bordas frontais da asa na direção do vento, cortando o ar. Para ter menor velocidade, ela vira a superfície da asa contra o vento. Isso aumenta a área da asa e, consequentemente, a resistência do ar.

Os músculos que controlam o movimento de subida e descida das asas desempenham um papel importante no voo. Quando a ave precisa de um impulso maior, ela agita as asas de cima para baixo, conforme representado na figura abaixo.

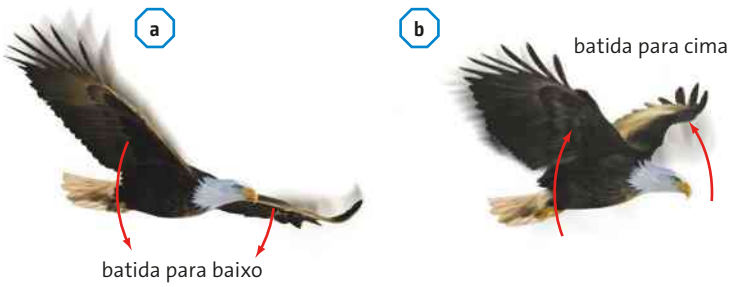
No momento do voo, a asa da ave interage com o fluxo de ar, criando uma força de resistência deste ($\vec{R}_a$) e uma força de sustentação ($\vec{F}_s$) perpendicular a $\vec{R}_a$. A resultante dessas forças é denominada força aerodinâmica $\vec{A}$.

As principais forças que atuam em uma ave durante o voo são para cima e para a frente. Observamos que a força aerodinâmica A pode ser considerada como a composição $\vec{A} = \vec{F}_{vs} + \vec{F}$, em que $\vec{F}_{vs}$ é o componente vertical de $\vec{F}_s$ e $\vec{F}$ é a força de impulso.

Fonte de dados: DURAN, J. E. R. *Biofísica:* fundamentos e aplicações. São Paulo: Prentice Hall, 2003.



Ao virar as bordas frontais das asas na direção do vento, a ave atinge uma velocidade maior.



A força aerodinâmica $\vec{A}$, sobre a ave, depende das forças de impulso, de sustentação e de arraste.

As imagens destas páginas não estão representadas em proporção.

Trabalho com o texto

Veja respostas para estas atividades no Manual do Professor.

1. Como são classificados os tipos de voo? Quais as diferenças entre eles?
2. Quais são os principais fatores que influenciam o voo propulsionado?
3. Nas três modalidades de voo existe uma força contrária ao movimento. Qual é essa força?

Pesquise e discuta

4. Em equipe, discuta se aves voadoras podem também praticar as outras modalidades de voo.

UNIDADE 3

Energia e as leis da conservação

CAPÍTULO 7

Energia, trabalho e potência

Veja orientações e sugestões de encaminhamento dos assuntos deste Capítulo no Manual do Professor.

Christian Mueller/Shutterstock



Montanha-russa em Nova York, 2015.

[...] A aventura começa calmamente, com os passageiros recostados no banco almofadado, apreciando a subida gradual do carro até o ponto mais alto. O ruído lento e regular da engrenagem contrasta com a selvagem turbulência que se seguirá. Seguindo a tradição, o carro quase atinge a imobilidade, equilibrando-se no topo do plano inclinado antes de ser arrastado pela força da gravidade. Então, mergulha.

HAZEN, Robert M.; TREFIL, James. *Saber ciência*. São Paulo: Cultura, 1999. p. 49.

Qual é a relação entre uma montanha-russa e os princípios fundamentais da energia?

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

1 Formas de energia



Moisés Gonçalves/Arquivo da editora

Figura 7.1 A alimentação adequada garante a energia necessária para a sobrevivência do ser humano. A alimentação desequilibrada pode gerar sérios riscos ao organismo.

Um dos conceitos físicos mais importantes é o de energia, presença constante em todas as nossas atividades diárias. Desde que acordamos pela manhã, tomamos um banho quente, preparamos o café e utilizamos algum meio de transporte para chegar à escola ou ao trabalho, estamos utilizando energia. Mesmo em repouso, o nosso corpo necessita de energia para manter seu funcionamento; mas nossas necessidades energéticas vão muito além da alimentação. Na sociedade atual, nossa dependência de energia é tão grande que é difícil imaginar como seria nossa vida sem ela.

A fonte de energia para os animais é a alimentação. Ingerindo alimentos, os animais obtêm a energia necessária para a sua sobrevivência (**figura 7.1**). Carros, motos, aviões e foguetes também necessitam de energia para se movimentar (**figura 7.2**). Qualquer que seja o meio de transporte é preciso fornecer a ele certa quantidade de energia (obtida, por exemplo, da queima de um combustível), parte da qual é aproveitada como energia de movimento. O que observamos na natureza é uma série de contínuas transformações de energia.



Delfim Martins/Tyba

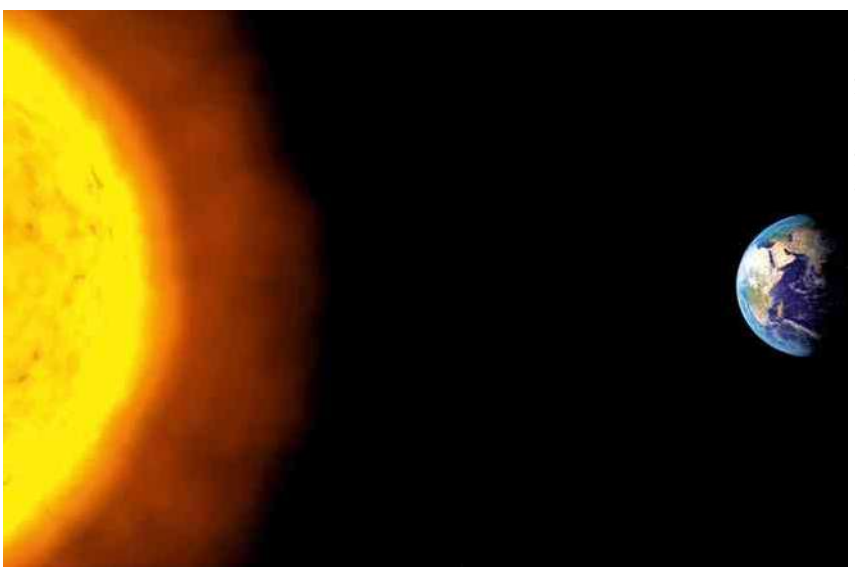
Figura 7.2 A queima do combustível no motor do ônibus produz movimento. Belo Horizonte (MG), 2015.

Tanto a nossa sobrevivência como a do planeta Terra estão diretamente ligadas à energia que vem do Sol. Essa energia, natural de reações nucleares que ocorrem no interior da estrela, ao chegar à Terra é armazenada e utilizada das mais variadas formas (**figura 7.3**). De toda a energia produzida no Sol, a Terra recebe uma parcela muito pequena. Dois fatores contribuem para isso: estamos a aproximadamente 150 milhões de quilômetros do Sol e nosso planeta possui um diâmetro da ordem de 110 vezes menor que o do Sol (**figura 7.4**).



Marcos Amend/Pulsar Imagens

Figura 7.3 A fotossíntese é o processo pelo qual as plantas utilizam luz solar, água e gás carbônico para produzir glicose e gás oxigênio. Sumaúma à beira do rio Teles Pires, Alta Floresta (MT), 2014.



Cla78/Shutterstock/Glow Images

Figura 7.4 A distância e as ordens de grandezas existentes entre o Sol e a Terra contribuem para a pequena troca de energia entre eles. Representação sem escala e em cores fantasia.

Embora o uso de diversas formas de **energia** seja uma prática da humanidade desde os primórdios, somente no início do século XIX esse conceito começou a fazer parte do vocabulário científico, passando rapidamente para o vocabulário popular. O termo foi cunhado por Thomas Young (1773-1829), em 1807, baseado no grego (*en*: dentro; *érgon*: trabalho, obra, ação). Aliás, muitos termos de uso comum no cotidiano atual foram definidos ao longo da história da Física, como temperatura, umidade do ar e corrente elétrica, apenas para citar alguns exemplos. Nesse aspecto, vale lembrar que a Física não só define as grandezas, mas também procura disponibilizar meios de medi-las ou calculá-las.

Energia – Capacidade que um sistema físico tem de realizar trabalho.

De acordo com a fonte, a energia recebe uma denominação: ela pode ser mecânica, térmica, elétrica, química, luminosa, sonora, nuclear, etc. Essas diferentes modalidades de energia são equivalentes, isto é, podem ser transformadas de um tipo em outro, tanto por meio de processos naturais como artificiais. As transformações de energia obedecem a um dos princípios fundamentais da Física, o **princípio da conservação de energia**:

> A energia não pode ser criada nem destruída; somente pode ser transformada.

Vejamos cada uma das modalidades de energia.

Energia mecânica

A energia mecânica pode ser cinética ou potencial. A **energia cinética** é a energia associada ao movimento. Todo corpo em movimento possui energia cinética.

Quando chutamos uma bola, fornecemos a ela certa quantidade de energia. Parte dessa energia se transforma em energia cinética, isto é, a bola passa a apresentar movimento. O mesmo raciocínio pode ser aplicado a um carro: quando ele se movimenta, a energia obtida a partir da queima do combustível é, em parte, transformada em energia cinética (figura 7.5).

A **energia potencial** é a energia armazenada, associada à posição de um corpo ou de um sistema de corpos. Essa energia pode permanecer armazenada indefinidamente ou ser utilizada a qualquer momento na produção de movimento, ou seja, pode ser transformada, no todo ou em parte, em energia cinética, como ocorre, por exemplo, quando um carrinho desce em uma montanha-russa (figura 7.6).



Emran/Shutterstock/Glow Images

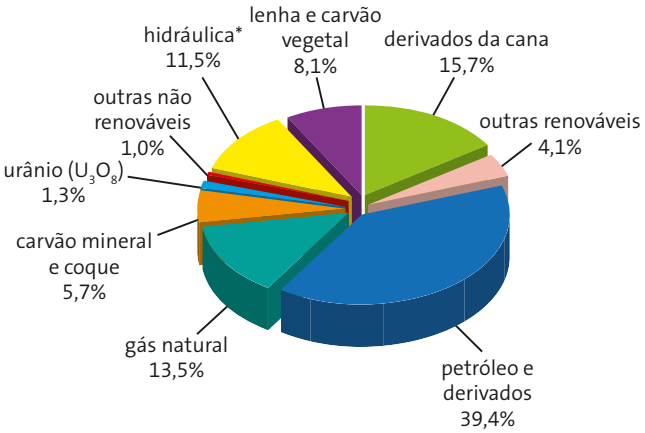
Figura 7.5 O desenvolvimento de combustíveis que promovam maior eficiência nos motores e menor consumo é uma das grandes características do setor automotivo moderno.



Joy Fera/Shutterstock/Glow Images

Figura 7.6 À medida que os carrinhos descem a montanha-russa, a energia potencial vai diminuindo e a energia cinética vai aumentando.

Estrutura de participação das fontes na oferta interna de energia no Brasil, de acordo com o BEN-2015



Banco de imagens/Arquivo da editora

*Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica.

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN-2015). Disponível em: <ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: fev. 2016.

Figura 7.7

Energia química

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN-2015), na Oferta Interna de Energia (OIE) no Brasil em 2014, tivemos uma estrutura de participação das fontes conforme mostrado na figura 7.7.

Observe no gráfico que o petróleo e seus derivados, a biomassa (lenha, carvão vegetal e derivados da cana), o gás natural e o carvão mineral perfazem, juntos, 82,4% da oferta interna de energia (figuras 7.8, 7.9 e 7.10). A energia desses combustíveis é obtida por meio de uma transformação química chamada **combustão**.

Em uma reação de combustão ocorre a liberação de grandes quantidades de energia, as quais podem ser aproveitadas para movimentar máquinas e motores.

Combustão – Desprendimento de calor e emissão de luz decorrentes de reação química entre substâncias combustíveis com oxigênio.

Mas de onde provém a energia liberada em uma combustão? Das ligações químicas dos átomos, moléculas ou íons que compõem o material. Todos os materiais possuem energia armazenada em sua estrutura. Na combustão, as ligações entre partículas constituintes do material são quebradas, havendo formação de novas substâncias e liberação de energia.



Delfim Martins/Pulsar Imagens

Figura 7.8 O carvão pode ser usado como combustível em máquinas a vapor ou diretamente na produção de calor. Paragoinhas (PA), 2014.



Ittipo/Shutterstock/Glow Images

Figura 7.9 No Brasil, a cana-de-açúcar é a principal matéria-prima do etanol, combustível muito utilizado nos automóveis.

As imagens desta página não estão representadas em proporção.



Dado Galdieri/Bloomberg/Getty Images

Figura 7.10 O Brasil está entre os maiores desenvolvedores de tecnologias de extração de petróleo no mar. Graças ao desenvolvimento dessas tecnologias, o país se tornou autossustentável em 2006. Plataforma de petróleo na Baía de Guanabara (RJ), 2015.

Energia térmica

Tudo que nos rodeia é constituído por átomos, que estão sempre em movimento. Mesmo nos sólidos, nos quais essas partículas ocupam posições bem determinadas, elas apresentam um movimento de vibração. Esse movimento, que recebe o nome de **agitação térmica**, nos dá a medida da **energia térmica** do corpo.

Quanto maior a temperatura de um corpo, maior a agitação de suas partículas e, portanto, maior sua energia térmica. Quando dois corpos com temperaturas diferentes interagem, a energia térmica transfere-se espontaneamente do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura. Essa **energia térmica em trânsito**, provocada por uma diferença de temperatura, é denominada **calor**.

O fornecimento de calor a um corpo pode acarretar consequências danosas. Em razão do aumento na agitação térmica das partículas que constituem o corpo, ocorre a dilatação, como podemos observar na figura 7.11.

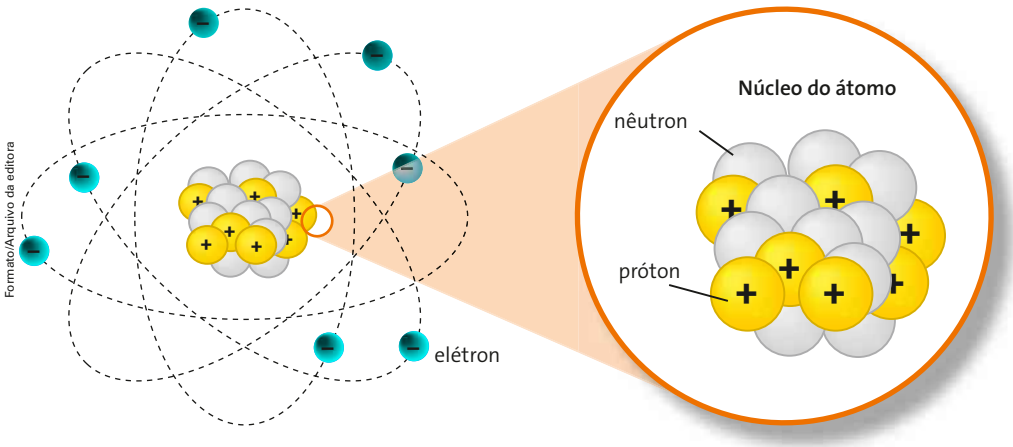


SSPL/Getty Images

Figura 7.11 Trilhos retorcidos por causa da dilatação.

Energia elétrica

Todos os corpos são formados de átomos, que, por sua vez, são constituídos de partículas menores, sendo as principais os prótons, os elétrons e os nêutrons (figura 7.12). Os prótons e os elétrons apresentam uma propriedade denominada **carga elétrica**, determinante na força elétrica entre os corpos.



Formato/Arquivo da editora

Figura 7.12 Representação esquemática (sem escala e em cores fantasia) de um átomo cujo núcleo está detalhado.

Quando separamos as cargas elétricas umas das outras, fornecemos a elas certa quantidade de energia, que fica armazenada no sistema na forma de **energia potencial elétrica**. Essa energia potencial elétrica armazenada, que encontramos, por exemplo, nas pilhas e baterias, pode ser aproveitada para colocar em funcionamento os mais diversos aparelhos elétricos, como os que podemos observar na figura 7.13.

As imagens desta página não estão representadas em proporção.



Scyther5/Shutterstock/Glow Images



Andrey Eremin/Shutterstock/Glow Images



Songquan Deng/Shutterstock/Glow Images



Edhar/Shutterstock/Glow Images



Schab/Shutterstock/Glow Images

Figura 7.13 Equipamentos que utilizam pilhas e baterias como fonte de energia elétrica.

Energia solar

Plasma – Gás altamente ionizado, constituído por elétrons e íons positivos livres, de forma que sua carga elétrica total é nula.

A matéria solar é constituída basicamente por hidrogênio em estado de **plasma**.

Com o processo da fusão nuclear, o Sol produz energia continuamente. Sabe-se que cerca de 30% da energia solar que chega à Terra é refletida de volta para o espaço; aproximadamente 47% dessa energia se transforma em calor, aquecendo os continentes e os oceanos; 23% provocam a evaporação das águas, que formam as chuvas; 0,2% é a parcela responsável pelo deslocamento do ar atmosférico e pela formação de ondas no mar; e somente 0,02% é aproveitado no processo da fotossíntese.

A energia solar pode ser aproveitada para aquecimento de água nas residências (**figura 7.14**).

Veja resposta no Manual do Professor.

Para refletir
Em relação à preservação do meio ambiente, qual é a vantagem da utilização de energia solar para aquecimento de água nas residências em vez de energia elétrica?

Zé Paiva/Pulsar Imagens



Figura 7.14 Casa com placas de captação de energia solar para o aquecimento de água. Florianópolis (SC), 2013.

Energia luminosa

Somente uma pequena fração da energia liberada pelo Sol chega à Terra. Essa energia se propaga pelo espaço em forma de ondas (radiações) eletromagnéticas, chegando à Terra na forma de luz, raios infravermelhos, raios ultravioleta e outras radiações.

Marcos André/Opção Brasil Imagens



Da radiação eletromagnética emitida pelo Sol, a parcela que chega à Terra se transforma em outras formas de energia. As plantas se nutrem captando parte dessa energia, realizando a fotossíntese e armazenando energia; os animais herbívoros sobrevivem utilizando a energia armazenada nas plantas (**figura 7.15**); os carnívoros se alimentam dos herbívoros, e assim por diante.

Figura 7.15 As cadeias alimentares possibilitam a transferência de energia das plantas para os herbívoros e destes para os carnívoros. Criação de gado em Tobias Barreto (SE), 2015.

Energia sonora

O som é uma forma de energia que, como a luz, é transportada por meio de ondas. Quando produzimos um som (figura 7.16), pela fala ou de outro modo qualquer, provocamos vibrações nas moléculas do ar. No interior da orelha, essas vibrações são transformadas em impulsos elétricos que, levados ao cérebro, são identificados como sons.

Mat Hayward/Shutterstock/Glow Images



Figura 7.16 A vibração dos alto-falantes e dos pratos (de uma bateria) produz no ar à sua volta ondas, que captamos pelas orelhas.

Energia nuclear

A energia nuclear é a forma mais concentrada de energia que conhecemos. Ela tem sua origem na fissão ou na fusão de núcleos atômicos.

No processo de **fissão nuclear**, o núcleo de um átomo que possui uma configuração instável sofre divisão, formando dois novos núcleos e liberando uma grande quantidade de energia. Nas usinas nucleares, a fissão de átomos de urânio é utilizada na produção de energia elétrica (figura 7.17).

Nas estrelas ocorre a **fusão nuclear**. Nesse processo, os núcleos de hidrogênio se unem, formando núcleos de hélio, e ocorre a liberação de grande quantidade de energia.

O reator Tokamak (acrônimo russo para "câmara magnética toroidal") funcionou pela primeira vez em 1950, na extinta União Soviética (figura 7.18).

Acrônimo – Palavra formada pela primeira letra (ou mais de uma) de cada uma das partes sucessivas de uma locução ou pela maioria dessas partes.

Mauricio Simonetti/Pulsar Imagens



Figura 7.17 Vista de cima das usinas que compõem a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), em 2015. Em operação comercial desde 1985, Angra I, em Angra dos Reis (RJ), foi a primeira usina nuclear construída no Brasil.

Roger Ressmeyer/Corbis/Latinstock



Figura 7.18 O reator Tokamak é usado em pesquisas sobre fusão nuclear.

Veja comentários e sugestões para esta seção no Manual do Professor.

Energia eólica

As massas de ar em movimento possuem energia cinética, a qual é chamada de energia dos ventos, ou **energia eólica**. A energia eólica pode ser aproveitada para a geração de eletricidade nas chamadas turbinas eólicas e para a realização de trabalhos mecânicos, como o bombeamento de água ou a trituração de grãos, nos chamados moinhos ou cata-ventos.



Rubens Chaves/Pulsar Imagens

Complexo Eólico Caetés da Casa dos Ventos, no agreste de Pernambuco. Caetés (PE), 2015.

O interesse do ser humano em aproveitar a energia dos ventos remonta à Pré-História:

> [...] Existem indícios de que moinhos de vento foram utilizados na Babilônia e na China entre 2000 e 1700 a.C. para bombear água e moer grãos. Os moinhos de vento foram introduzidos na Europa por volta do século XII e, em 1750, a Holanda tinha 8 000 deles, e a Inglaterra, 10 000. Sua utilização entrou em declínio após a introdução do motor a vapor de Watt no final do século XVIII e este declínio foi acelerado no início do século XX como resultado da disponibilidade de combustíveis fósseis baratos e confiáveis, assim como da energia hidráulica. A extração de energia do vento, especialmente na forma de eletricidade, tem despertado cada vez mais o interesse das empresas e do governo.
>
> HINRICHS, R.A.; KLEINBACH, M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. p. 318.

No Brasil, a utilização da energia eólica ainda é pequena, de acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel):

> [...] A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca. Atualmente, existem mais de 30 mil turbinas eólicas em operação no mundo. [...] Estima-se que, em 2020, o mundo terá 12% da energia gerada pelo vento, com uma capacidade instalada de mais de 1 200 GW [1 200 gigawatts] [...].
>
> Disponível em: <www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf>. Acesso em: out. 2015.

> [...] No Brasil, os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para energia eólica foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha (PE), no início dos anos 1990. Os resultados dessas medições possibilitaram a determinação do potencial eólico local e a instalação das primeiras turbinas eólicas do Brasil.
>
> Disponível em: <www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_2.htm>. Acesso em: out. 2015.

- Faça uma pesquisa sobre a participação da energia eólica no total de energia elétrica produzido no Brasil (para isso, visite o *site* <www.aneel.gov.br>) e sobre o potencial de produção brasileira dessa energia; inclua também os principais benefícios e desvantagens nesse tipo de geração de energia.

Unidades de energia

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de energia é o **joule (J)**. Para exemplificar: um corpo de 100 g (0,1 kg) caindo de uma altura de 1,0 m atinge o solo com uma energia de 1,0 joule aproximadamente.

Na prática, é comum a utilização de outras unidades de energia, tais como: caloria (cal), quilowatt-hora (kWh), tonelada equivalente de petróleo (tep) e unidade térmica britânica (Btu). Os fatores de conversão dessas unidades de energia para o joule (J) estão mostrados na tabela 7.1.

Tabela 7.1 Fatores de conversão de unidade de energia

Unidade	Relação com o joule (J)
caloria (cal)	$1\,cal = 4{,}19\,J$
quilowatt-hora (kWh)	$1\,kWh = 3{,}6 \cdot 10^6\,J$
tonelada equivalente de petróleo (tep)	$1\,tep = 4{,}19 \cdot 10^{10}\,J$
unidade térmica britânica (Btu)	$1\,Btu = 1{,}0 \cdot 10^3\,J$

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

Exercícios

1. De acordo com o **princípio de conservação de energia**, a energia não pode ser criada nem destruída; apenas transformada. Como você interpreta o fato de que "a escassez de energia é um problema mundial; precisamos poupar energia" veiculada pelos principais meios de comunicação?

Veja resposta no Manual do Professor.

2. (Enem) A tabela a seguir apresenta alguns exemplos de processos, fenômenos ou objetos em que ocorrem transformações de energia. Nessa tabela, aparecem as direções de transformação de energia. Por exemplo, o termopar é um dispositivo onde energia térmica se transforma em energia elétrica.

De / Em	Elétrica	Química	Mecânica	Térmica
Elétrica	transformador			termopar
Química				reações endotérmicas
Mecânica		dinamite	pêndulo	
Térmica				fusão

Dentre os processos indicados na tabela, ocorre conservação de energia:

X a) em todos os processos.

b) somente nos processos que envolvem transformações de energia sem dissipação de calor.

c) somente nos processos que envolvem transformações de energia mecânica.

d) somente nos processos que não envolvem energia química.

e) somente nos processos que não envolvem nem energia química nem energia térmica.

3. Na foto abaixo, vemos uma atleta praticando arco e flecha.

Pedro Paulo Ferreira/Fotoarena



Sarah Nikitin, atleta da equipe brasileira de tiro com arco, nos Jogos Pan-Americanos de Toronto, Canadá, 2015.

No lançamento da flecha pela atleta ocorre transformação de energia. Nessas condições, explique qual a forma de energia: Energia potencial (elástica).

a) que corresponde à imagem mostrada na foto, ou seja, antes de a flecha ser lançada?

b) imediatamente após a flecha ser lançada? Energia cinética.

4. Um piloto profissional está realizando testes com um novo modelo de carro em uma pista horizontal. Em um dos testes, com o carro a 100 km/h, o piloto pisa no freio ao máximo, travando as rodas, com o intuito de medir a distância percorrida pelo carro até parar. Durante a frenagem, a energia cinética do carro diminui devido à redução de velocidade, mas a energia potencial não se altera, pois a pista é horizontal. Responda e justifique:

a) Houve conservação da energia mecânica do carro?

b) O que acontece com a energia cinética do carro?

4. a) Não. Veja resposta completa no Manual do Professor.

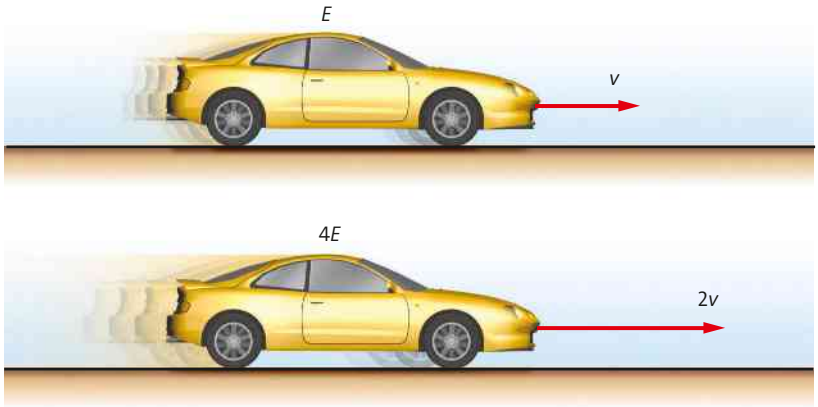
4. b) É transformada em energia térmica devido ao atrito entre os pneus e o solo.

2 O trabalho de uma força

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

Quando o módulo da velocidade de um corpo é alterado, para mais ou para menos, sua energia cinética também se altera. Por exemplo, se dobrarmos a velocidade de um carro, sua energia cinética será quadruplicada (figura 7.19), pois, como veremos no tópico 4, a energia cinética varia com o quadrado da velocidade.

Esse aumento de energia – e o consequente aumento de velocidade – está associado a uma **força** que agiu ao longo de um **deslocamento**.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 7.19 Um carro com velocidade v possui energia cinética E; com velocidade $2v$, a energia cinética é $4E$.

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

Vejamos outro exemplo. Quando mudamos a posição vertical de um corpo, para cima ou para baixo, estamos alterando a sua energia potencial. Na figura 7.20, se um halterofilista dobra a altura de um haltere em relação ao solo, a energia potencial do haltere, em relação ao solo, também dobra.





Ilustrações: Antonio Robson/Arquivo da editora

Figura 7.20 Ao dobrar a altura de um haltere em relação ao solo, sua energia potencial, em relação ao solo, também dobra.



Antonio Scorza/Agência France-Presse

Figura 7.21 Durante a descida, duas forças realizam trabalho: a força peso do atleta e a força de atrito. Rampa artificial de gelo construída no Rio de Janeiro (RJ), em 2009.

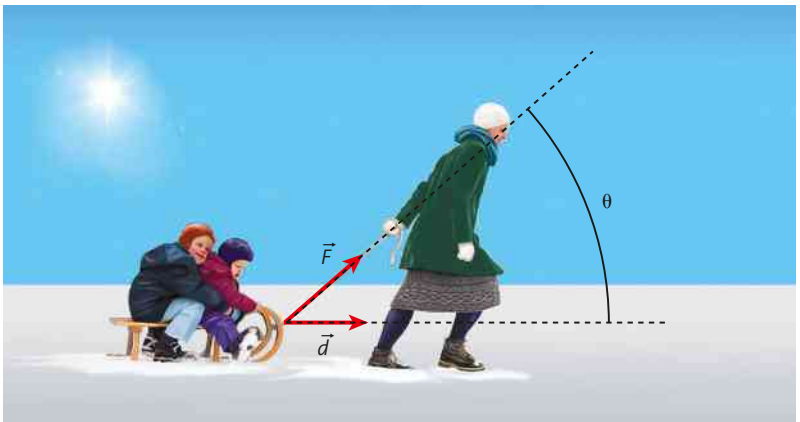
Também nesse caso, o aumento de energia potencial – causado pelo aumento de altura – está associado a uma força que agiu ao longo de um deslocamento.

Quando uma força age ao longo de um determinado deslocamento, acarretando variação de energia, dizemos que ela realizou trabalho:

> **Trabalho** é a medida das transformações de energia.

Na figura 7.21, durante todo o deslocamento do atleta rampa abaixo, tanto a força peso do atleta como a força de atrito realizam trabalho.

Uma condição necessária para que uma força realize trabalho é que ela deve apresentar uma componente na direção do deslocamento, podendo ser a favor ou contra ele (figura 7.22).



Antonio Robson/Arquivo da editora

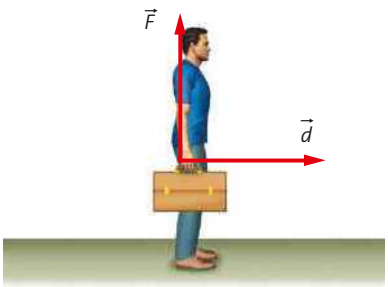
As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

Figura 7.22 A força $\vec{F}$ que a mulher aplica ao puxar o trenó realiza trabalho, pois apresenta uma componente na direção do deslocamento $\vec{d}$.

Na situação mostrada na figura 7.23, a força $\vec{F}$ não é a favor nem contra o deslocamento $\vec{d}$. Como a força não possui componente na direção do deslocamento, ela não realiza trabalho. Em outras palavras: **forças perpendiculares ao deslocamento não realizam trabalho**.

Matematicamente, o trabalho τ realizado por uma força $\vec{F}$, ao longo de um deslocamento $\vec{d}$, é dado pelo produto da **intensidade** da componente da força na direção do deslocamento pelo módulo do deslocamento, ou seja:

$$\tau = \pm F_d \cdot d$$



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 7.23 Como $\vec{F}$ e $\vec{d}$ são perpendiculares, o trabalho da força $\vec{F}$ é nulo.

Nessa expressão, F_d representa a intensidade da força $\vec{F}$ na direção do deslocamento $\vec{d}$. Se $\vec{F}_d$ estiver no mesmo sentido do deslocamento $\vec{d}$, o trabalho é positivo, denominado **trabalho motor**; já se $\vec{F}_d$ estiver no sentido contrário do deslocamento $\vec{d}$, o trabalho é negativo, denominado **trabalho resistente**, no SI a unidade do trabalho é o **joule (J)**.

Exercício resolvido

1. Um corpo de 2,0 kg cai, a partir do repouso, de uma altura de 5,0 m em relação ao solo. Considerando $g = 10\ m/s^2$ e desprezando a resistência do ar:

a) qual é o trabalho realizado pela força peso durante a queda do corpo? Trata-se de um trabalho motor ou resistente?

b) durante a queda, o que acontece com a energia cinética? E com a energia potencial?

Resolução:

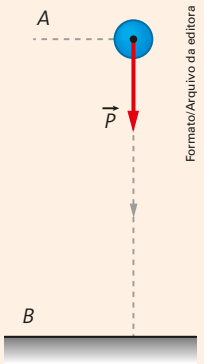
a) Desprezando a resistência do ar, a única força que age no corpo durante sua queda é a força peso, que tem a mesma direção e o mesmo sentido do deslocamento dele. Assim, a força peso realiza **trabalho motor** ao longo do deslocamento do corpo.

Sendo $F_d = P = m \cdot g$ e $d = h$, o valor do trabalho é:

$\tau = F_d \cdot d = m \cdot g \cdot h \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau = 2{,}0 \cdot 10 \cdot 5{,}0 \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau = 100\ J$



Formato/Arquivo da editora

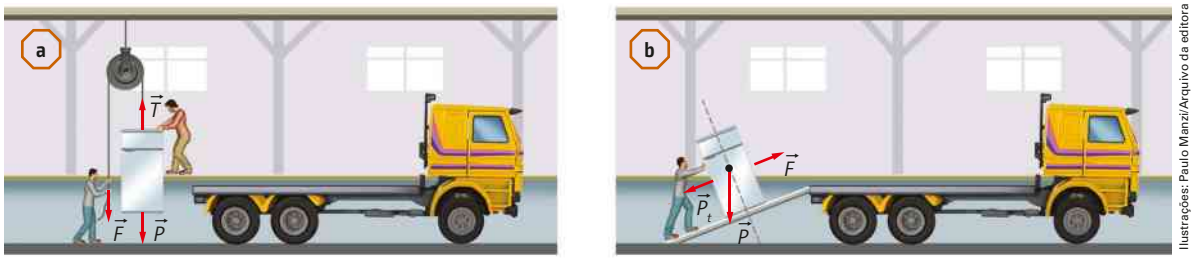
b) Durante a queda, a velocidade do corpo aumenta; portanto, a energia cinética dele aumenta. Por outro lado, a altura do corpo, em relação ao solo, diminui; portanto, a energia potencial, em relação ao solo, diminui. Assim, na queda, temos transformação de energia potencial em energia cinética.

Veja comentários e respostas para esta seção no Manual do Professor.

Força × deslocamento

Para uma pessoa colocar uma geladeira na carroceria de um caminhão, ela pode levantá-la verticalmente ou empurrá-la sobre uma rampa. Nos dois casos, temos a realização de um trabalho por uma força. Em qual das duas situações o trabalho é maior? Qual dos dois métodos é mais prático?

Se nossa análise se restringir somente à comparação entre as intensidades das forças nas imagens abaixo, diremos que a utilização da rampa é o modo mais prático, pois aplicamos uma força de menor intensidade. Será que poderíamos dizer que na rampa o trabalho realizado seria menor do que no levantamento vertical?

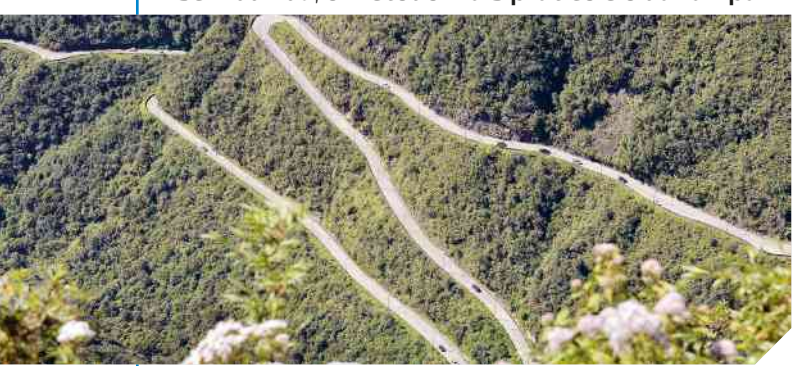


Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

No levantamento vertical (figura a) a intensidade da força que a pessoa aplica na geladeira é, no mínimo, igual à da força peso da geladeira. No caso da utilização de uma rampa para o acesso à carroceria do caminhão (figura b), desprezando-se os atritos, a intensidade da força aplicada pela pessoa é menor do que a da força peso da geladeira. Representações sem escala e em cores fantasia.

A resposta é **não**! No cálculo do trabalho, além da intensidade da força, precisamos levar em conta também o deslocamento. O deslocamento vertical da geladeira é menor do que o deslocamento ao longo da rampa. Então, se nossa análise se restringisse somente à comparação entre os deslocamentos, o trabalho seria maior ao longo da rampa, pois apresenta um maior deslocamento.

Como o trabalho realizado por uma força é dado pelo produto da intensidade desta pelo módulo do deslocamento, precisamos levar em conta os dois fatores – força e deslocamento. Um dado interessante é que, nos dois casos, o produto da força pelo deslocamento é o mesmo, ou seja, **o trabalho é o mesmo nas duas situações**. Ao optarmos pelo deslocamento ao longo da rampa, optamos por uma força de menor intensidade, mas um deslocamento maior. Assim, se a intensidade da força na rampa for, por exemplo, um terço da intensidade da força na vertical, o deslocamento na rampa será o triplo do deslocamento vertical. Embora a utilização de uma rampa exija que a força seja aplicada por uma distância maior, o fato de resolver a situação com uma força menor é decisivo na escolha: sem dúvida, **o método mais prático é o da rampa**.



Cesar Diniz/Pulsar Imagens

Estrada em zigue-zague na serra do rio do Rastro, Bom Jardim da Serra (SC), 2015.

A engenharia utiliza esse mesmo raciocínio nas construções de estradas em regiões montanhosas. Opta-se pela construção de pistas com inclinação suave; a estrada vai contornando a montanha ou é construída em zigue-zague, como na figura ao lado, e não subindo em linha reta.

Desprezando-se os atritos, a força exercida pelo motor de um carro que sobe uma montanha realiza o mesmo trabalho, quer subindo por uma pista em linha reta, quer subindo por uma pista em zigue-zague.

- Se o trabalho é o mesmo, justifique o fato de os engenheiros optarem por um caminho maior (em zigue-zague) em vez de subir em linha reta, na construção de estradas em regiões montanhosas.

7. a) Forças: peso, contato, resistência do ar e motora. Realizam trabalho: força do motor (trabalho motor) e resistência do ar (trabalho resistente).
b) Realizam trabalho: força peso (trabalho motor), força do motor e resistência do ar (trabalho resistente).

Exercícios

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

5. c) Durante a queda, a única força que age no corpo é a força peso, que realiza trabalho motor.

5. Um corpo é abandonado do repouso de uma altura *h*, acima do solo. Despreze a resistência do ar e adote o solo como referencial. Com base nessas informações, responda:

a) Qual é a forma de energia (cinética ou potencial) do corpo ao atingir o solo? Energia cinética.

b) Qual é a forma de energia (cinética ou potencial) do corpo ao ser abandonado? Energia potencial.

c) Houve realização de trabalho durante a queda do corpo? Em caso positivo, identifique a força; em caso negativo, justifique.

6. Num parquinho de uma escola infantil existe um escorregador que as crianças utilizam para brincar.



kubowa1/Shutterstock

As crianças sobem pela escada até o alto do escorregador e, em seguida, deslizam rampa abaixo, chegando ao solo.

a) Durante a subida pela escada, a força peso realiza trabalho? Em caso positivo, o trabalho é motor ou resistente? Sim, trabalho resistente.

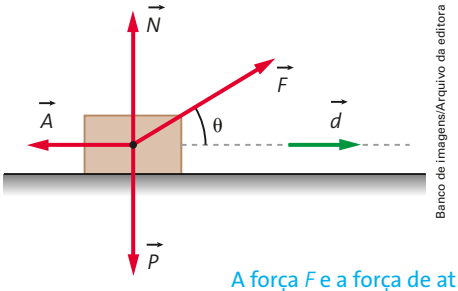
b) Se desprezarmos o atrito durante a descida, qual criança chega ao solo com maior energia cinética: a de maior ou a de menor massa? Maior massa.

7. Um motorista mantém um carro com velocidade constante durante 10 minutos em uma pista horizontal e retilínea.

a) Existem forças agindo sobre o carro? Em caso positivo, quais delas realizam trabalho?

b) Responda o item **a** supondo que o carro esteja em um trecho de descida com velocidade constante sem que o motorista acione o pedal do acelerador.

8. Sob a ação de quatro forças, um bloco desloca-se 10 m em uma superfície horizontal, conforme mostra a figura (sem escala e em cores fantasia).



Banco de imagens/Arquivo da editora

A força *F* e a força de atrito.

a) Quais das forças mostradas na figura realizam trabalho no bloco? Justifique.

b) Calcule o trabalho de cada uma das quatro forças mostradas na figura.
Considere: $P = 100$ N; $F = 50$ N; $N = 70$ N; $A = 25$ N; sen $\theta = 0{,}60$; cos $\theta = 0{,}80$ e cos $180° = -1$.
$\tau_N = \tau_P = 0$; $\tau_F = 400$ J; $\tau_A = -250$ J.

9. Em uma competição na neve, uma equipe de cachorros puxa um trenó e seu condutor, em uma pista horizontal, com velocidade constante e conforme mostra a figura.



Byelikova Oksana/Shutterstock

a) Quais as forças que realizam trabalho no trenó?

b) Calcule o trabalho realizado pela força da equipe de cachorros durante um deslocamento de 20 m sabendo que a força de atrito no trenó vale 50 N.

9. a) Força produzida pela equipe de cachorros (trabalho motor) e força de atrito (trabalho resistente).
b) $\tau_{F(\text{cach.})} = 1000$ J.

Veja comentários, sugestões e textos adicionais para este tópico no Manual do Professor.

3 Potência mecânica e rendimento



antos777/Shutterstock

Figura 7.24 O trabalho realizado por uma pessoa ao subir de um andar a outro será o mesmo se ela fizer isso usando a escada ou o elevador.

Para refletir
Quais são os benefícios do uso da escada em vez do elevador para subir alguns andares de um prédio?

Veja resposta no Manual do Professor.

Para subir até o 5º andar de um prédio, podemos utilizar o elevador ou a escada (**Figura 7.24**). Nos dois casos, o trabalho realizado é o mesmo para elevar o corpo a uma altura de aproximadamente 15 m. Então, por que a maioria das pessoas normalmente opta pelo elevador? Basicamente, por dois motivos, apresentados a seguir.

O primeiro diz respeito à energia envolvida no processo. A realização de trabalho exige a aplicação de uma força ao longo de um deslocamento. Assim, se a opção for o elevador, essa força será aplicada por um motor externo – o motor do elevador. Caso a opção seja a escada, o motor será o próprio corpo da pessoa, que, usando as pernas, realiza a tarefa.

O segundo diz respeito à rapidez com que o trabalho é realizado. Na utilização da escada, o intervalo de tempo é maior do que na utilização do elevador. Nesse caso, estamos comparando duas forças aplicadas por máquinas diferentes – o motor do elevador e o corpo humano. Como essas forças efetuam o mesmo trabalho, mas em intervalos de tempo diferentes, dizemos que possuem potências diferentes. Podemos afirmar que a potência associada à força aplicada pelo corpo humano é menor do que a potência associada à força do motor do elevador.

Podemos, então, falar em **potência média P_m de uma força**, dada pela razão entre o trabalho τ realizado pela força e o intervalo de tempo Δt gasto para a realização desse trabalho:

$$P_m = \frac{\tau}{\Delta t}$$

No SI, a unidade de trabalho é o joule (J), a de intervalo de tempo é o segundo (s) e a unidade de potência é o **watt (W)**.

Podemos também relacionar a potência média com a velocidade média do deslocamento por meio da expressão:

$$P_m = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{F \cdot d}{\Delta t} \Rightarrow P_m = F \cdot v_m$$

A potência média de uma força é o produto da força pela velocidade média. Se usarmos a velocidade instantânea no lugar da média, teremos a **potência instantânea**, dada por:

$$P = F \cdot v$$

Do mesmo modo que falamos em potência de uma força, podemos falar em potência de uma máquina. No caso das máquinas, a potência representa a rapidez com que a energia está sendo transferida ou transformada pela máquina. Assim, a **potência média de uma máquina** é dada pela razão entre a quantidade de energia ΔE transformada pela máquina e o intervalo de tempo Δt gasto nessa operação:

$$P_m = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

De modo geral, o funcionamento de uma máquina pode ser entendido da forma como esquematizado na figura 7.25.

Uma quantidade de energia, de um determinado tipo, é fornecida à máquina. Essa quantidade de energia é denominada **energia total** (Q_1). Uma parte dessa energia é transformada na modalidade de energia para a qual a máquina foi projetada, e é denominada **energia útil** (W). A diferença entre a energia total e a energia útil é denominada **energia dissipada** (Q_2), que não atende à finalidade da máquina.

A relação entre as energias total, útil e dissipada obedece ao princípio da conservação da energia, ou seja, a energia total, fornecida à máquina, é igual à soma das energias útil e dissipada pela máquina.

No caso específico das máquinas térmicas, a energia útil (aproveitável) é menor do que a energia dissipada (perdida), o que justifica a largura das setas na figura 7.25.

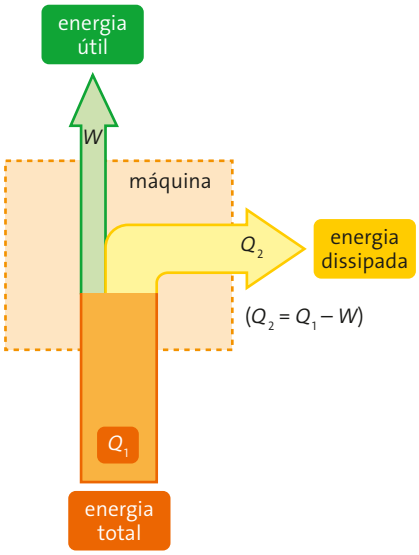


Figura 7.25 Esquema ilustrativo do funcionamento de uma máquina térmica.

Comparando a energia útil com a energia total, em um dado intervalo de tempo, obtemos a grandeza denominada **rendimento** (η). O rendimento de uma máquina nos informa sobre o aproveitamento desta, ou seja, quanto da energia fornecida a ela foi transformado na modalidade desejada. O rendimento pode ser obtido pela razão entre a potência útil e a potência total:

$$\eta = \frac{P_{útil}}{P_{total}}$$

Normalmente, o resultado obtido nessa expressão é multiplicado por 100 e, assim, expressamos o rendimento em porcentagem.

De acordo com o princípio da conservação de energia, a potência útil nunca supera a potência total. Em decorrência, o rendimento de uma máquina não pode ser superior a 100%.

Horse power e cavalo-vapor

As primeiras máquinas a vapor marcaram o início da Revolução Industrial na Inglaterra do século XVIII (figura 7.26). Durante esse período, um número crescente de máquinas a vapor foi construído em diversas oficinas.

Nessa época, uma das principais finalidades das máquinas a vapor era a retirada de água das minas de carvão, combustível que impulsionou a Revolução Industrial. Até então esse serviço era realizado principalmente com o uso da força de cavalos, fato que tornou inevitável a comparação entre as máquinas e esses animais.

Para expressar a potência das máquinas, na Inglaterra estabeleceu-se a unidade **hp** (*horse power*) e, na França, adotou-se o **cv** (*cheval-vapeur*, cavalo-vapor). Embora não façam parte do SI, essas duas unidades são empregadas até hoje, consagradas pelo uso, principalmente na indústria automobilística.

As relações entre essas unidades com o watt são as seguintes:

$$1\,hp = 746\,W \quad e \quad 1\,cv = 736\,W$$

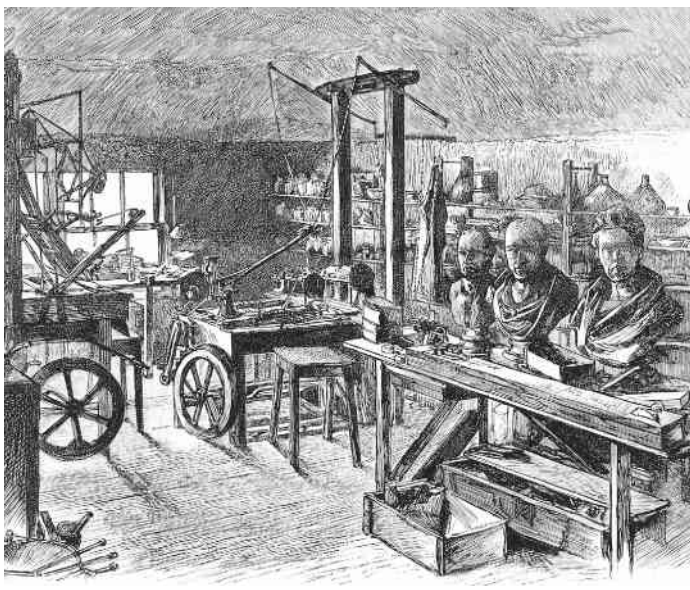

Universal History Archive/UIG/The Bridgeman Art Library/Keystone

Figura 7.26 Oficina de James Watt, em Birmingham, Inglaterra (1886). Nessa oficina eram construídos diversos tipos de máquinas a vapor.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

10. Na tabela a seguir estão apresentados os trabalhos realizados por três motores e os respectivos intervalos de tempo gastos na realização desses trabalhos.

Trabalhos realizados por três motores

Motor	Trabalho (J)	Intervalo de tempo (s)
A	200	2
B	$4 \cdot 10^3$	20
C	$5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^2$

Dados fictícios.

Com base nesses dados, responda:

a) Qual dos três motores realiza o maior trabalho? Motor ***C***.

b) Qual deles é o mais potente? Motor ***B***.

11. Uma pessoa, conhecida na cidade como um "grande inventor", constrói uma máquina térmica que funciona em ciclos (veja o esquema ilustrativo de funcionamento da máquina na **figura 7.25**) e que, segundo o inventor, apresenta um rendimento de 50%. Uma equipe de engenheiros da universidade local testou a máquina e obteve os seguintes resultados: em cada ciclo, a máquina recebia 2 500 J de energia total de uma fonte externa e rejeitava 1500 J para o meio ambiente. A máquina apresenta o rendimento divulgado pelo inventor? Justifique sua resposta. Não. Veja resposta completa no Manual do Professor.

12. Um automóvel parte do repouso sob a ação de uma força com intensidade de 2 000 N aplicada pelo motor. Sabe-se que o rendimento desse motor é 40%. Após percorrer 1000 m, sob a ação exclusiva dessa força, determine:

a) o trabalho útil realizado pela força do motor nesse deslocamento; $\tau = 2 \cdot 10^6$ J.

b) o consumo de energia proveniente do combustível. Consumo igual a $5 \cdot 10^6$ J.

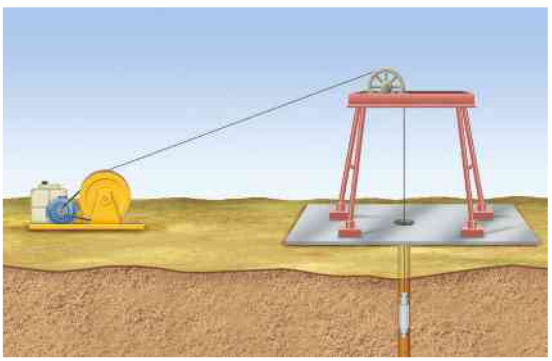
13. A potência dos motores pode ser dada em cv (cavalo-valor). Essa unidade, proposta no tempo das primeiras máquinas a vapor, correspondia à capacidade de um cavalo típico, que conseguia erguer verticalmente, com auxílio de uma roldana, um bloco de 75 kg a uma altura de 1,0 m em um intervalo de tempo igual a 1,0 s.

a) A quantos cavalos típicos corresponde o motor de um automóvel de 80 cv? 80 cavalos típicos.

b) Teoricamente, qual seria a massa do bloco que um motor de 100 cv poderia erguer na mesma velocidade do cavalo típico mencionado no texto? $m = 7500$ kg

14. (UFRGS-RS) O resgate de trabalhadores presos em uma mina subterrânea no norte do Chile foi realizado através de uma cápsula introduzida numa perfuração do solo até o local onde se encontravam os mineiros, a uma profundidade da ordem de 600 m. Um motor com potência total aproximadamente igual a 200 kW puxava a cápsula de 250 kg contendo um mineiro de cada vez.

Paulo Manzi/Arquivo da editora



Considere que, para o resgate de um mineiro de 70 kg de massa, a cápsula gastou 10 minutos para completar o percurso e suponha que a aceleração da gravidade local é 9,8 m/s². Não se computando a potência necessária para compensar as perdas por atrito, a potência efetivamente fornecida pelo motor para içar a cápsula foi de:

a) 686 W.

b) 2450 W.

X c) 3136 W.

d) 18 816 W.

e) 41160 W.

15. (PUC-MG) Um halterofilista, ao realizar treinamentos, consegue levantar um haltere de 100 kg a uma altura de 2,0 m em 10 s. Após uma semana de treinamentos, ele consegue realizar o mesmo exercício num tempo de 5,0 s. Na segunda semana, a grandeza física que mudou foi:

a) a força de atração da Terra sobre o haltere.

b) a variação de energia potencial do haltere.

X c) a potência desenvolvida pelo halterofilista.

d) o trabalho realizado sobre o haltere.

Veja comentários e sugestões sobre este tópico no Manual do Professor.

4 Energia mecânica: cinética e potencial

A montanha-russa constitui um ótimo dispositivo para o estudo da energia mecânica, nas suas formas de energia cinética e potencial. Durante a subida, que se processa lentamente, os carrinhos vão armazenando energia potencial, em relação ao solo, até atingir o ponto mais alto da montanha-russa (**figura 7.27**).

Ao longo da descida, a energia cinética vai se tornando cada vez maior, enquanto a energia potencial (armazenada na subida) vai diminuindo. A energia cinética no ponto mais baixo da montanha será usada para subir a segunda rampa – que, com certeza, é mais baixa do que a primeira. Após algumas subidas e descidas, o passeio termina com os carrinhos retornando ao ponto inicial.



Rubens Chaves/Pulsar Imagens

Figura 7.27 Na montanha-russa a energia é armazenada quando o sistema é elevado para o ponto mais alto e vai se transformando em energia cinética no decorrer da primeira descida. Penha (SC), 2010.

Energia cinética

Como vimos no início deste capítulo, para que um corpo de massa *m* apresente energia cinética, ele deve estar em movimento. Um corpo em movimento tem condições de realizar um trabalho e isso o diferencia de um corpo em repouso.

Vamos tomar como exemplo um bate-estaca, equipamento muito utilizado na construção de edifícios. O bate-estaca é constituído por um bloco de grande massa que é usado para cravar estacas no solo, as quais servirão de sustentação para o edifício. Para que o dispositivo funcione é preciso que o bloco (bate-estaca) caia de determinada altura sobre a estaca (**figura 7.28.a**). Durante a queda, o bloco adquire energia cinética cada vez maior, que é utilizada na realização de um trabalho: ao bater na estaca, o bloco exerce uma força sobre ela, fazendo-a penetrar no solo (**figura 7.28.b**). Observe que a simples colocação do bloco sobre a estaca não resolveria a questão.

A energia associada ao movimento de um corpo, denominada **energia cinética**, é uma grandeza que depende da massa, *m*, do corpo e varia com o quadrado da velocidade, *v*, com que esse corpo se movimenta, sendo dada por:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

No SI, utilizamos as seguintes unidades: massa em **quilograma (kg)**, velocidade em **metro por segundo (m/s)** e energia cinética em **joule (J)**.



HacK-LeR/Shutterstock



HacK-LeR/Shutterstock

As imagens desta página não estão representadas em proporção.

Figura 7.28 Durante a queda do bate-estaca, a energia potencial transforma-se em energia cinética.

O fato de a energia cinética variar com o quadrado da velocidade é fundamental para o entendimento do comportamento dos carros nas ruas e nas estradas. No gráfico mostrado na **figura 7.29**, vemos a correspondência entre a energia cinética e a velocidade.

Gráfico de energia cinética *versus* velocidade

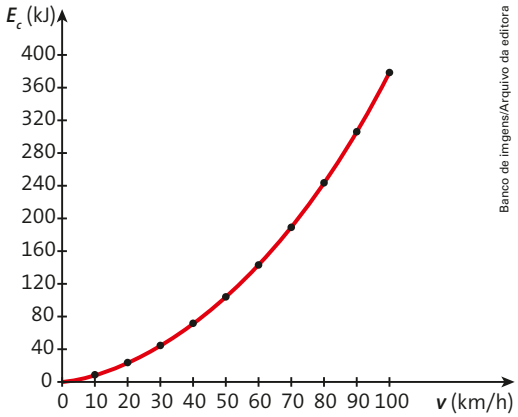


Figura 7.29 Correspondência entre a energia cinética e a velocidade de um carro de massa 1 000 kg.

Na construção do gráfico da **figura 7.29**, consideramos um carro com massa de 1 000 kg, que corresponde à maioria dos carros que circulam em nossas cidades. Vale ressaltar que a correspondência entre a energia cinética e a velocidade não é linear e que o desconhecimento desse fato pode acarretar sérias consequências. Vejamos um exemplo.

Veja resposta no Manual do Professor.

Para refletir
Com base nos dados das **figuras 7.29** e **7.30**, se o carro acelerar uniformemente de 0 a 108 km/h, qual será a relação entre os deslocamentos de 0 a 36 km/h e de 36 km/h a 108 km/h?

Suponha que um carro a 100 km/h seja freado até parar. Vamos analisar a redução da velocidade do carro em dois intervalos: de 100 km/h a 50 km/h e de 50 km/h a 0 (**figura 7.30**).

De acordo com o gráfico, a energia cinética do carro a 100 km/h vale, aproximadamente, 386 kJ, e a 50 km/h essa energia é de 96 kJ. Assim, na redução de 100 km/h para 50 km/h, o carro perde uma energia cinética igual a 290 kJ (a diferença entre 386 kJ e 96 kJ). Já na redução de 50 km/h para 0, o carro perde apenas 96 kJ de energia cinética. Embora a variação de velocidade tenha sido a mesma nos dois intervalos, a perda de energia cinética no primeiro intervalo corresponde a 75% do total, restando para o segundo uma perda de apenas 25% do total da energia.

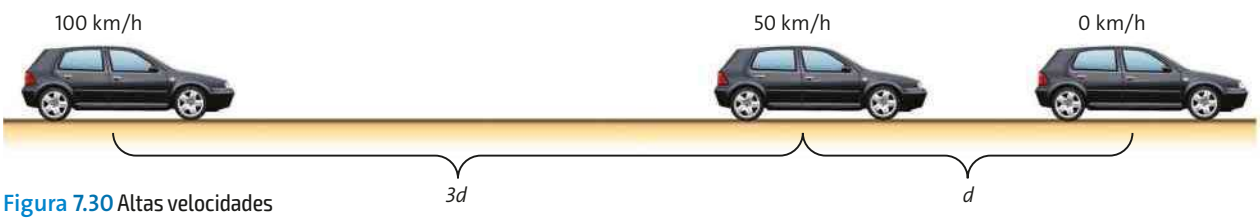


Figura 7.30 Altas velocidades atingidas em estradas exigem do motorista mais atenção em razão do maior espaço necessário para a frenagem. Representação sem escala e em cores fantasia.

Vamos admitir que a intensidade da força resultante associada à redução da velocidade do carro seja constante ao longo de toda a freada. Nessas condições o carro percorre, no primeiro intervalo, 75% da distância total de parada; no segundo, 25% dessa distância, conforme mostra a **figura 7.30**.

O conhecimento dessa relação quadrática entre energia cinética e velocidade pode ser útil na avaliação da distância entre veículos necessária para se evitar acidentes.

De modo análogo, essas proporções também se verificam nos aumentos de velocidade. Se um carro acelera uniformemente de 0 a 100 km/h, seu deslocamento, no intervalo de 0 a 50 km/h, corresponde a 25% do total; já no intervalo de 50 km/h a 100 km/h, o carro percorre 75% do deslocamento total.

Veja a demonstração do teorema da energia cinética no Manual do Professor.

Teorema da energia cinética

A relação entre variação de energia cinética e deslocamento foi estabelecida com base em uma proposição, que pode ser demonstrada, denominada **teorema da energia cinética**. Esse teorema relaciona as variações de energia cinética com o trabalho da força resultante associado à variação de velocidade:

> O trabalho resultante é igual à variação de energia cinética.

Em símbolos, temos:

$$\tau_R = \Delta E_C = E_{C(\text{final})} - E_{C(\text{inicial})}$$

Exercício resolvido

2. Um automóvel de massa 1000 kg tem sua velocidade aumentada de 36 km/h para 108 km/h, em razão da ação de uma força $\vec{F}$ constante e paralela ao deslocamento do automóvel. Considerando que, nesse intervalo, o automóvel percorreu 100 m, determine:

a) a intensidade da força $\vec{F}$;

b) os deslocamentos do automóvel em dois intervalos seguidos: de 36 km/h para 72 km/h e de 72 km/h para 108 km/h.

Resolução:

a) Lembrando que 36 km/h = 10 m/s e que 108 km/h = 30 m/s, aplicamos o teorema da energia cinética para obter a intensidade da força $\vec{F}$:

$\tau_R = E_{C\,(\text{final})} - E_{C\,(\text{inicial})}$

$$F_R \cdot d = \frac{m \cdot v_f^2}{2} - \frac{m \cdot v_i^2}{2} \Rightarrow F \cdot 100 = \frac{1000}{2} \cdot [(30)^2 - (10)^2] \Rightarrow F = 4\,000 \text{ N}$$

b) Como a força $\vec{F}$ é constante, no intervalo de 36 km/h (ou 10 m/s) para 72 km/h (ou 20 m/s), o deslocamento é de:

$$F_R \cdot d = \frac{m \cdot v_f^2}{2} - \frac{m \cdot v_i^2}{2} \Rightarrow 4\,000 \cdot d_1 = \frac{1000}{2} \cdot [(20)^2 - (10)^2] \Rightarrow d_1 = 37{,}5 \text{ m}$$

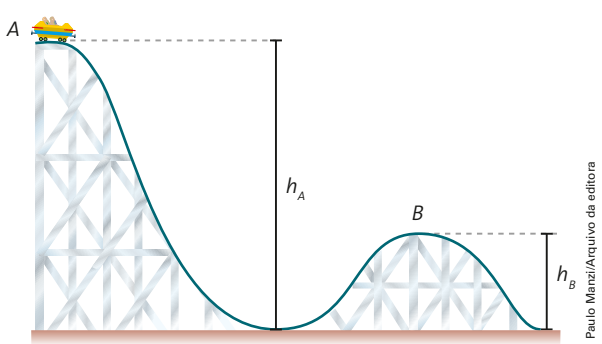
E, no intervalo de 72 km/h (ou 20 m/s) para 108 km/h (ou 30 m/s), obtemos um deslocamento de:

$$F_R \cdot d = \frac{m \cdot v_f^2}{2} - \frac{m \cdot v_i^2}{2} \Rightarrow 4\,000 \cdot d_2 = \frac{1000}{2} \cdot [(30)^2 - (20)^2] \Rightarrow d_2 = 62{,}5 \text{ m}$$

Energia potencial

Observe, na figura 7.31, a posição ocupada pelo carrinho em uma montanha-russa.

Em virtude de o carrinho encontrar-se a uma altura *h*, ele apresenta, em relação ao solo, uma **energia potencial**. Essa energia, armazenada no sistema Terra-carrinho, pode ser transformada em energia cinética, ou seja, essa energia pode produzir movimento.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 7.31 A energia potencial armazenada pelo carrinho, em relação ao solo, em *A* é maior que a energia potencial que o carrinho apresentaria se estivesse em *B*.

Energia potencial gravitacional

Quando utilizamos o campo gravitacional da Terra para armazenar energia, esta recebe o nome de **energia potencial gravitacional**. Por exemplo, quando uma empilhadeira retira uma caixa do solo e a coloca em uma prateleira a 2,0 m de altura, ela aumenta a distância de separação entre a caixa e o centro da Terra, o que dá uma nova configuração ao sistema caixa-Terra (figura 7.32).

No levantamento da caixa houve a realização de um trabalho, e o sistema caixa-Terra armazena essa energia na forma de energia potencial gravitacional. Em outras palavras, a energia armazenada no sistema caixa-Terra pode ser entendida como a energia potencial da caixa no campo gravitacional da Terra.

Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora



Figura 7.32 A empilhadeira realiza um trabalho ao retirar a caixa do solo, fazendo com que a energia seja armazenada na forma de energia potencial gravitacional.

Assim, adotando-se o solo (superfície da Terra) como ponto de altura zero, a energia potencial gravitacional é zero quando a caixa está no solo. Quando a caixa está a uma altura h acima do solo, a energia potencial gravitacional é dada por:

$$E_{PG} = m \cdot g \cdot h$$

Nessa expressão, m é a massa da caixa em quilogramas (kg), g é a aceleração da gravidade em metro por segundo por segundo (m/s^2) e h é a altura, em relação ao solo, em metros (m). Com essas unidades, a energia potencial gravitacional é dada em joule (J).

Observe que a expressão para o cálculo da energia potencial gravitacional é a mesma que usamos para calcular o módulo do trabalho da força peso de um corpo quando ele cai de uma altura h acima do solo, ou quando ele é lançado para cima a partir do solo, até atingir a altura h.

De modo geral podemos dizer que, para elevar um corpo de massa m do solo até um ponto de altura h, devemos, por meio da aplicação de uma força $\vec{F}$, realizar um trabalho contra a força peso do corpo, conforme mostra a figura 7.33.

Para iniciar o movimento do corpo, a intensidade da força $\vec{F}$ deve ser ligeiramente maior do que a intensidade da força peso $\vec{P}$. Uma vez iniciado o movimento, as intensidades das forças $\vec{F}$ e $\vec{P}$ podem ser iguais, pois o corpo prosseguirá em movimento uniforme. Nessas condições, a variação de energia cinética do corpo pode ser desprezada, e podemos dizer que o trabalho realizado pela força $\vec{F}$ ao longo do deslocamento do corpo, do solo até o ponto de altura h, é, em módulo, igual ao trabalho realizado pela força peso do corpo nesse mesmo deslocamento. Desse modo, o trabalho da força $\vec{F}$ é armazenado no sistema corpo-Terra na forma de energia potencial gravitacional do corpo de massa m.

Formato/Arquivo da editora

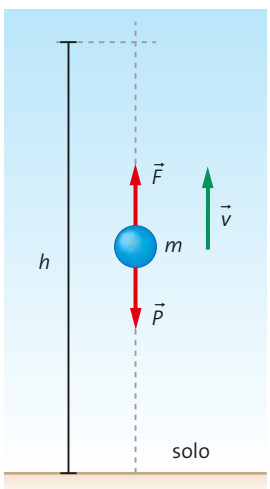


Figura 7.33 Na elevação do corpo do solo até a altura h, o trabalho realizado pela força $\vec{F}$ é motor, enquanto o da força peso é resistente.

Energia potencial elástica

Outra forma de armazenamento de energia está associada às deformações elásticas que determinados corpos apresentam quando são submetidos a forças de tração ou de compressão, ou seja, quando são tracionados ou comprimidos. Em alguns dispositivos, como nos elásticos usados para prender papéis (**figura 7.34**) e no arco e flecha (**figura 7.35**), as deformações são bem visíveis.

Produzir deformação significa realizar trabalho. No caso do elástico, esse trabalho é realizado aplicando-se uma força de tração às extremidades da tira elástica, de tal modo que o comprimento da tira elástica aumenta. Com a retirada da força de tração, a deformação desaparece, isto é, a tira elástica volta a seu comprimento original. Deformações desse tipo, que deixam de existir quando cessa a força, são denominadas **deformações elásticas**.

Do mesmo modo, um arqueiro, para retesar o arco, precisa realizar um trabalho. Observe na **figura 7.35** que, com uma das mãos, ele segura o arco e, com a outra, mantendo a extremidade traseira da flecha entre os dedos, traciona a corda, que, como o elástico, sofre uma deformação elástica. Quando a flecha é liberada, a deformação desaparece.

Nos dois casos, o que acontece com o trabalho realizado pela força de tração aplicada? Como produto final, podemos dizer que esse trabalho é armazenado nas tiras de borracha, no caso do elástico, ou na corda, no caso do arco e flecha, na forma de energia potencial. Como se trata de armazenamento de energia em deformações elásticas, a energia é denominada **energia potencial elástica**.

A energia potencial elástica, armazenada em corpos elásticos, pode ser utilizada para produzir movimento, isto é, para produzir energia cinética. Isso acontece, por exemplo, quando a flecha no arco é lançada em direção ao alvo.

Podemos, também, obter uma energia potencial elástica por meio de uma compressão, como acontece em alguns dispositivos que utilizam molas (**figura 7.36**). Ao comprimirmos elasticamente uma mola, estamos armazenando energia potencial elástica, que pode ser utilizada na realização de um trabalho quando a mola for liberada.

Dentro de certos limites, as molas são corpos elásticos que podem armazenar energia potencial quando tracionadas ou comprimidas, conforme mostra a **figura 7.37**.



Andrey Eslin/Shutterstock

Figura 7.34 Tiras elásticas de borracha podem armazenar energia potencial elástica.



Pedro Paulo Ferreira/Fotoarena

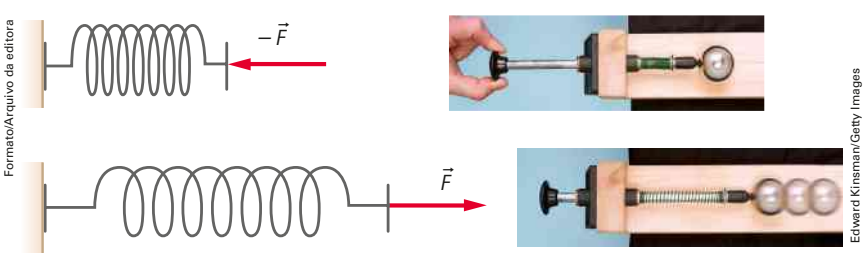
Figura 7.35 Ao liberar a flecha, a energia potencial elástica é transformada, em parte, em energia cinética. Bernardo Oliveira, atleta da Seleção Brasileira de tiro com arco, nos Jogos Pan-Americanos de Toronto, Canadá, 2015.

As imagens desta página não estão representadas em proporção.



Ralf Juergen Kraft/Shutterstock/Glow Images

Figura 7.36 Ao comprimir a mola de uma mesa de *pinball*, armazenamos a energia potencial elástica. Essa energia é transferida à bola em forma de energia cinética, dando início ao jogo.



Formato/Arquivo da editora

Edward Kinsman/Getty Images

Figura 7.37 A mola tracionada ou comprimida possui energia potencial elástica.

Conforme visto no Capítulo 5, todo corpo elástico oferece certa resistência à deformação. Essa resistência se traduz por uma força que se opõe à força de tração ou de compressão, denominada força elástica, cuja intensidade é proporcional à deformação produzida no corpo, conforme mostra o gráfico da **figura 7.38**.

Gráfico da força elástica *versus* deformação da mola

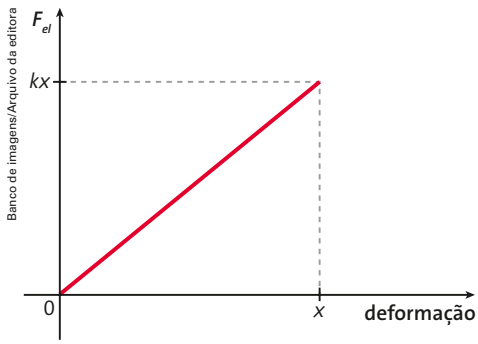


Figura 7.38

De acordo com o gráfico, sendo k a constante de proporção entre a intensidade da força elástica F_{el} e a deformação x do corpo, podemos escrever:

$$F_{el} = k \cdot x$$

Como se trata de uma força cuja intensidade é variável, o trabalho realizado pela **força elástica** em uma deformação x é obtido pela área do triângulo compreendido entre a linha do gráfico e o eixo das abscissas, dentro do intervalo de 0 a x (**figura 7.38**):

$$\tau_{el} = (\text{área do triângulo}) = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Considerando que, durante a deformação de um corpo elástico, a variação de energia cinética é desprezível, o trabalho realizado pela força de tração (ou de compressão) é igual, em módulo, ao trabalho da força elástica. Então, a energia potencial elástica armazenada em um corpo elástico é dada por:

$$E_{Pel} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Nessa expressão, k (constante elástica) é dada em newtons por metro (N/m); x (deformação), em metros (m); e E_{Pel} (energia potencial elástica), em joule (J).

Exercícios resolvidos

3. Em uma construção civil, um operário, utilizando uma corda e uma roldana, ergue uma caçamba cheia de tijolos do solo até uma altura de 4,0 m. Considerando que a massa total da caçamba é 20 kg e que $g = 10\ m/s^2$, determine o trabalho realizado pelo operário. Admita que a variação de energia cinética do sistema caçamba-tijolos é desprezível.


Paulo Manzi/Arquivo da editora

Resolução:

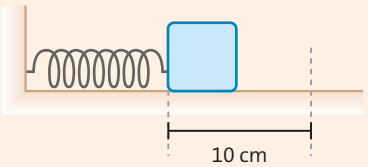
Como não há variação de energia cinética do corpo (caçamba + tijolos), o trabalho realizado pelo operário ($\tau_{op.}$) é numericamente igual ao aumento de energia potencial gravitacional do corpo. Assim, podemos escrever:

$\tau_{op.} = E_{PG\ (final)} - E_{PG\ (inicial)} \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau_{op.} = m \cdot g \cdot h - 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau_{op.} = 20 \cdot 10 \cdot 4{,}0 \Rightarrow \tau_{op.} = 800\ J$

4. Uma mola de constante elástica $k = 490\ N/m$, presa a uma parede, é comprimida por um bloco de massa 100 g (0,1 kg). Nessas condições, a mola sofre uma deformação de 10 cm, conforme a figura.



Desprezando atritos, determine a velocidade adquirida pelo bloco ao ser impulsionado pela mola.

Resolução:

Ao sofrer a compressão de 10 cm (0,1 m), a mola armazena energia potencial elástica. Essa energia será usada, sem perdas (não há atritos), para impulsionar o bloco. Assim, a energia potencial elástica da mola é transferida integralmente para o bloco na forma de energia cinética, isto é: $E_{Pel} = E_c$. Com essa igualdade, obtemos:

$E_{Pel} = E_c \Rightarrow \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow 490 \cdot (0{,}1)^2 = 0{,}1 \cdot v^2 \Rightarrow v = 7{,}0\ m/s$

O bloco adquire uma velocidade de 7,0 m/s.

Exercícios

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

16. (Enem) Uma análise criteriosa do desempenho de Usain Bolt na quebra do recorde mundial dos 100 metros rasos mostrou que, apesar de ser o último dos corredores a reagir ao tiro e iniciar a corrida, seus primeiros 30 metros foram os mais velozes já feitos em um recorde mundial, cruzando essa marca em 3,78 segundos. Até se colocar com o corpo reto, foram 13 passadas, mostrando sua potência durante a aceleração, o momento mais importante da corrida. Ao final desse percurso, Bolt havia atingido a velocidade máxima de 12 m/s.

Disponível em: <http://esporte.uol.com.br>. Acesso em: 5 ago. 2012 (adaptado).

Supondo que a massa desse corredor seja igual a 90 kg, o trabalho total realizado nas 13 primeiras passadas é mais próximo de

a) $5{,}4 \cdot 10^2$ J.
c) $8{,}6 \cdot 10^3$ J.
e) $3{,}2 \cdot 10^4$ J.
X b) $6{,}5 \cdot 10^3$ J.
d) $1{,}3 \cdot 10^4$ J.

17. Um automóvel de massa 1500 kg e velocidade de 108 km/h está ultrapassando um caminhão carregado, com massa total de 6,0 toneladas e velocidade de 54 km/h, em uma pista dupla. Nesse instante, ambos os motoristas, ao avistar um acidente a 100 m de distância e que interrompe totalmente a pista, acionam os freios e os veículos percorrem a mesma distância até parar antes do acidente. Desprezando a resistência do ar, em qual deles, automóvel ou caminhão:

a) o módulo do trabalho da força que fez cada um deles parar foi maior? Igual.
b) o módulo dessa força retardadora foi maior? Igual.

18. Um bate-estaca é constituído por um bloco de massa 2,0 ton que cai de uma altura de 1,0 m sobre uma estaca. Considere $g = 10\ m/s^2$.

a) Desprezando as perdas por atrito, qual é a energia que o bloco transfere à estaca em cada batida? $E = 20\,000$ J.
b) Após a batida, o bloco é levado de volta à posição original por um motor. Qual é a energia despendida pelo motor se o seu rendimento é de 25%? $E = 80\,000$ J.

19. Uma corda elástica utilizada em um *bungee-jump* pode ser considerada uma mola elástica. Um jovem de massa 60 kg, em determinado instante de sua queda, está a 15,0 m de altura em relação ao solo, com velocidade de 3,0 m/s, enquanto a corda está alongada em 2,0 m.


Antonio Robson/Arquivo da editora

Representação sem escala e em cores fantasia.

Quais são as formas de energia que o sistema (jovem-corda) tem, nesse instante, em relação ao solo?

Energia potencial gravitacional, energia potencial elástica e energia cinética.

Veja comentários e sugestões sobre este tópico no Manual do Professor.

5 Sistemas mecânicos conservativos e sistemas mecânicos não conservativos

Em termos de energia, os sistemas mecânicos podem apresentar energia cinética e/ou energia potencial (gravitacional ou elástica). A soma dessas formas de energia é denominada **energia mecânica**.

Graças aos trabalhos de muitos pesquisadores, entre os quais destacamos James Prescott Joule, foi estabelecido, na década de 1850, um dos princípios fundamentais da Física – o princípio da conservação de energia, que pode ser enunciado da seguinte maneira:

> A energia não pode ser criada nem destruída. Ela pode, apenas, ser convertida de uma forma para outra, mas a quantidade total de energia permanece constante.

Já vimos exemplos de transformação de energia em alguns equipamentos conhecidos, como a montanha-russa e o bate-estaca. Mas, no enunciado acima, o que significa o trecho "a quantidade total de energia permanece constante"? Será que isso se aplica a qualquer transformação de energia?

Vejamos um exemplo. Na **figura 7.39**, observamos crianças se divertindo em um tobogã (escorregador).

Quando uma pessoa encontra-se no alto de um tobogã, pronta para iniciar a descida, sua energia mecânica é dada pela energia potencial gravitacional que ela tem em relação ao solo; já durante a descida, ela perde energia potencial gravitacional, pois sua altura em relação ao solo diminui, mas ganha energia cinética, uma vez que sua velocidade aumenta. Ao chegar ao solo, a sua energia mecânica é dada pela energia cinética.

Se aplicássemos a lei da conservação de energia – a quantidade total de energia permanece constante – a essa situação, toda a energia potencial gravitacional da pessoa no ponto mais alto do tobogã teria que se transformar em energia cinética durante a descida; nessas condições, a energia mecânica permaneceria constante. Entretanto, não é isso que se observa na prática.

Se o tobogã tivesse, por exemplo, 5 m de altura, a pessoa deveria chegar ao solo com uma velocidade de 36 km/h. Mas as velocidades normalmente observadas em um tobogã com essa altura ficam na faixa de 20 km/h a 25 km/h. Essa diferença significa que a energia mecânica da pessoa no final do tobogã é menor do que no início.

Figura 7.39 Durante a descida pelo tobogã parte da energia mecânica é transformada em outras formas de energia.



John Birdsall/Age Fotostock/Keystock

Podemos, então, concluir que a lei da conservação de energia não é válida nesse caso? A resposta é **não**! A lei da conservação da energia se refere a **todas** as formas de energia, e, na análise acima, consideramos somente a energia mecânica.

Em uma análise mais cuidadosa, observaremos que, durante a descida, acontece um ligeiro aquecimento do sistema, em razão do atrito existente entre a roupa da pessoa e a superfície do tobogã. Esse aquecimento justifica, em parte, o fato de a energia mecânica no final do tobogã ser menor do que no início. Durante a descida, uma parte da energia mecânica é transformada em outras modalidades de energia, principalmente energia térmica. O que se conserva é a soma de todas as formas de energia envolvidas na transformação – mecânica, térmica, sonora, etc.

O exemplo da pessoa no tobogã caracteriza um **sistema mecânico não conservativo**, pois a energia mecânica não se manteve constante – fato que não contradiz a lei da conservação da energia. Na prática, a grande maioria dos sistemas mecânicos são não conservativos. Mais do que isso: muitos dos sistemas não conservativos são **dissipativos**, isto é, neles a energia mecânica final é menor do que a inicial.

Podemos ter também um sistema não conservativo no qual a energia mecânica final é maior do que a energia mecânica inicial. Nesse caso, forças não conservativas que agem no sistema realizam trabalho motor e, assim, a energia mecânica dele aumenta. Para exemplificar, retomemos o caso do tobogã. Para que a pessoa possa escorregar, é preciso que ela seja levada até o ponto mais alto do tobogã conforme a **figura 7.40**. Em outras palavras, é preciso fornecer a ela certa quantidade de energia mecânica que ela não possuía quando estava no solo. Se ela subir por uma escada, utilizará parte da energia que absorveu dos alimentos para se elevar e, com isso, adquirir energia mecânica; se ela utilizar um elevador, a energia mecânica adquirida virá do trabalho realizado pela força exercida pelo motor do elevador.



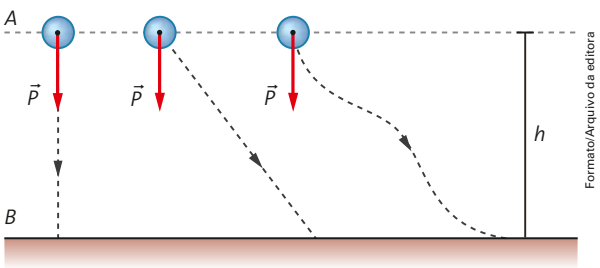
Helene Rogers/Grupo Keystone

Figura 7.40 Para que a pessoa possa escorregar no tobogã, é necessário que armazene certa quantidade de energia mecânica subindo a escada.

Em quais condições um sistema mecânico é conservativo? Em outras palavras, o que é preciso para que a energia mecânica de um sistema permaneça constante?

Em primeiro lugar, no sistema não podem existir forças dissipativas, como a força de atrito e a resistência do ar. Observe que isso dificilmente acontece nos dispositivos mecânicos do nosso cotidiano. Em alguns casos, se o módulo do trabalho das forças dissipativas for pequeno em relação à quantidade de energia mecânica (cinética e potencial) envolvida no fenômeno, podemos considerar o sistema como conservativo.

Em segundo lugar, devem agir no sistema somente forças conservativas, isto é, aquelas cujo trabalho não depende da trajetória. As forças peso e elástica são conservativas. O trabalho (motor ou resistente) realizado pelas forças conservativas está relacionado somente às transformações de energia potencial em cinética ou de cinética em potencial (**figura 7.41**). Isso significa que, nos sistemas mecânicos conservativos, está presente uma única forma de energia – a energia mecânica.



Formato/Arquivo da editora

Figura 7.41 O trabalho da força peso é o mesmo em todas as trajetórias. Representação sem escala e em cores fantasia.

Considerando a lei da conservação de energia, poderíamos ser levados a pensar que certa quantidade de energia poderia ser transformada quantas vezes quiséssemos e, no final, estaríamos sempre com a mesma quantidade de energia. Entretanto, se essa afirmação é válida, como explicar o fato de as reservas energéticas estarem diminuindo?

Existe um fato que não está expresso diretamente na lei da conservação de energia. Nas transformações, uma parcela da energia é convertida em outra forma que não pode ser recuperada e utilizada na aplicação desejada. Dizemos que uma parcela de energia útil se transforma em energia não útil (**figura 7.42**).



Cristi Kerekes/Shutterstock

Figura 7.42 No funcionamento do motor de um automóvel, uma parte da energia contida nos combustíveis é eliminada pelo escapamento, liberada para a atmosfera, e não pode ser recuperada para ser usada novamente no motor.

Trabalho em equipe

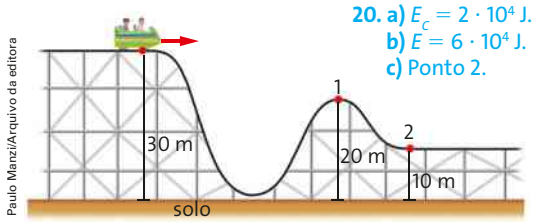
Com a orientação de seu professor, forme um grupo e pesquise sobre o sistema Kers. Na realidade, Kers é uma sigla para *kinetic energy recovery system*, ou sistema de recuperação de energia cinética. Esse sistema, em uso na Fórmula 1, tem por objetivo acumular a energia que normalmente é desperdiçada nas frenagens para ser utilizada pelo carro nas acelerações. Alguns pontos merecem destaque:

1. A importância do sistema para o automobilismo;
2. A relação do sistema com o consumo de combustível;
3. O rendimento e a relação com a lei da conservação de energia.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

Exercícios

20. Na montanha-russa mostrada na figura seguinte, (sem escala e em cores fantasia), admita que o carrinho parte do repouso do ponto mais alto.



Admita que a energia potencial gravitacional do carrinho no solo seja nula e, no ponto mais alto, $6 \cdot 10^4$ J. Despreze os atritos e adote $g = 10$ m/s².

a) Qual é a energia cinética do carrinho no ponto 1?
b) Qual é a energia mecânica do carrinho no ponto 2?
c) Em qual ponto, 1 ou 2, o carrinho possui maior velocidade?

20. a) $E_c = 2 \cdot 10^4$ J.
b) $E = 6 \cdot 10^4$ J.
c) Ponto 2.

21. Uma bola de massa 2,0 kg é solta em queda livre de um ponto situado a 5,0 m do solo. Sabendo-se que a bola parte do repouso, determine a velocidade, em km/h, com que a bola atinge o solo. Considere $g = 10$ m/s². $v = 36$ km/h.

22. (Enem) Um garoto foi à loja comprar um estilingue e encontrou dois modelos: um com borracha mais "dura" e outro com borracha mais "mole". O garoto concluiu que o mais adequado seria o que proporcionasse maior alcance horizontal, D, para as mesmas condições de arremesso, quando submetidos à mesma força aplicada. Sabe-se que a constante elástica k_d (do estilingue mais "duro") é o dobro da constante elástica k_m (do estilingue mais "mole"). A razão entre os alcances $\frac{D_d}{D_m}$, referentes aos estilingues com borrachas "dura" e "mole", respectivamente, é igual a:

a) $\frac{1}{4}$ X b) $\frac{1}{2}$ c) 1 d) 2 e) 4

23. Na figura seguinte, um grupo de jovens se diverte em um tobogã aquático que termina em uma piscina.


Iakov Filimonov/Shutterstock

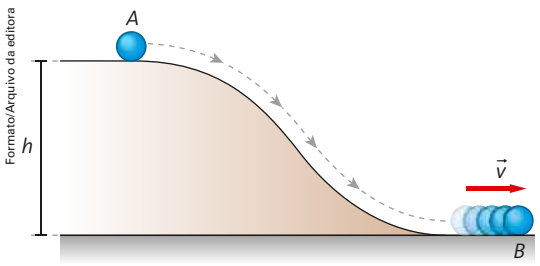
a) $v_{máx.} = 9{,}0$ m/s

Suponha que, em relação ao nível da água na piscina, a altura do tobogã seja 4,05 m. Considere $g = 10$ m/s².

a) Partindo do repouso do ponto mais alto do tobogã, qual é a velocidade máxima com que um jovem pode atingir o nível da água na piscina?
b) Se uma jovem com massa de 50 kg partir do repouso do alto do tobogã e atingir o nível da água na piscina com velocidade igual à metade da velocidade obtida no item **a**, determine a porcentagem da perda de energia mecânica nesse processo.

$\Delta E = 75\%$

24. Uma esfera de massa 4,0 kg, inicialmente em repouso no ponto A, inicia o movimento de descida pela rampa mostrada na figura e atinge o ponto B com velocidade de 10 m/s. Considere $g = 10$ m/s².



Sabendo-se que A está a 8,0 m de altura em relação a B, qual é a perda de energia entre os pontos A e B?

$\Delta E = 120$ J

Experimento

ATENÇÃO!
Realize essa atividade sob a supervisão do professor.

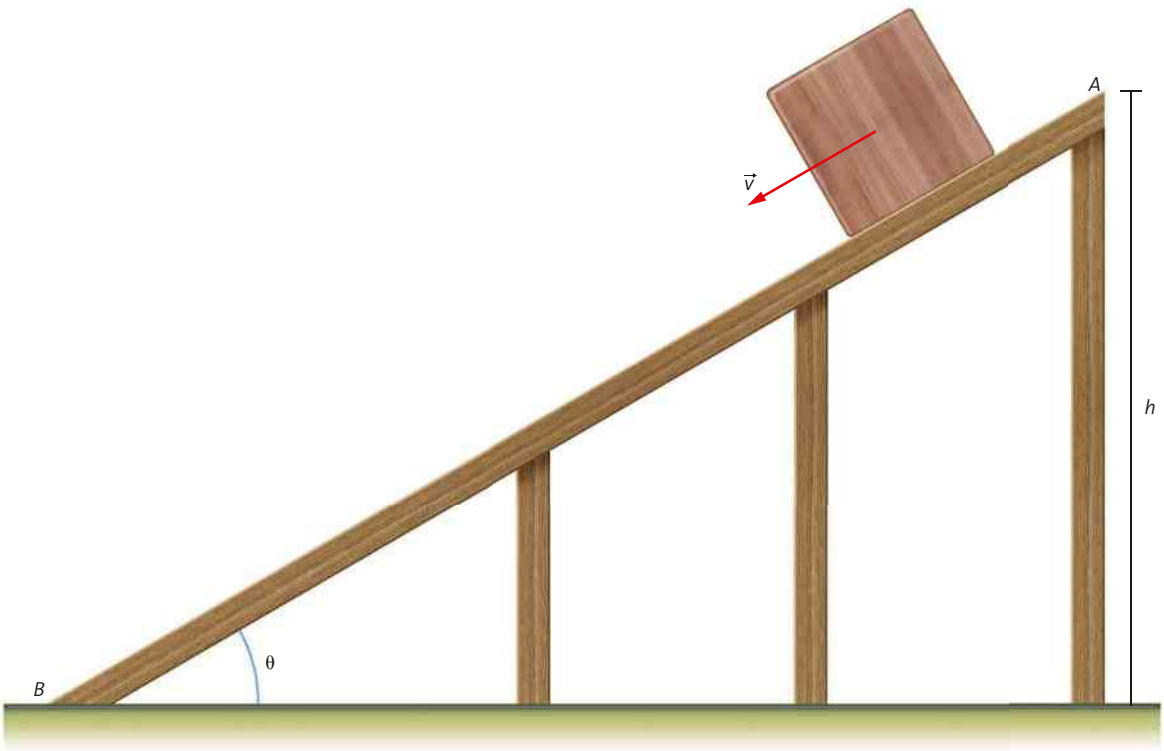
Energia mecânica

Veja comentários e respostas das atividades desta seção no Manual do Professor.

Nesta atividade propomos a análise de um sistema mecânico com o intuito de verificar se ele é conservativo ou não, ou seja, se a energia mecânica é conservada.

Para isso, cada grupo necessitará de um bloco de madeira, uma prancha de madeira com, pelo menos, 1,5 m de comprimento, uma trena e um cronômetro.

O experimento consiste em utilizar a prancha como plano inclinado, deixando o bloco escorregar a partir do ponto mais alto. A inclinação dessa rampa deve ser tal que o bloco desça em movimento acelerado.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Representação (sem escala e em cores fantasia) da montagem do arranjo experimental.

Discuta com os colegas do grupo os procedimentos necessários para verificar se a energia mecânica (cinética + potencial) do bloco, em relação à base do plano inclinado, conserva-se ao longo do movimento. Sugerimos a comparação da energia mecânica do bloco no ponto mais alto do plano inclinado com a energia mecânica dele ao atingir a base do plano.

Quais são as medidas que devem ser feitas para essa verificação? Faça, no seu caderno, uma tabela com as respectivas grandezas, em sequência, a serem medidas, e os respectivos valores obtidos.

Após realizadas todas as etapas do experimento e efetuados os cálculos necessários, responda:

1. Qual foi o valor obtido para a energia mecânica do bloco no ponto *A*? E no ponto *B*?
2. Esses valores são iguais ou não? O sistema mecânico é conservativo ou não conservativo?
3. O sistema pode ser classificado como dissipativo? Justifique.
4. Quais são as forças que realizam trabalho durante o movimento do bloco ao longo da rampa? Calcule o trabalho realizado para cada uma delas.
5. A lei da conservação de energia é válida nesse experimento? Justifique.

Em construção

Veja comentários e sugestões sobre esta seção no Manual do Professor.

Joule, Thompson e Mayer e a conservação de energia



Coleção particular/Arquivo Charmet

Retrato de James Prescott Joule.



Apic/Getty Images

Retrato de Benjamim Thompson.

O nome de Joule está intimamente ligado ao princípio da conservação de energia e, principalmente, ao equivalente mecânico do calor. Nesse tema, muitos outros cientistas deram importantes contribuições, como o físico anglo-americano Benjamin Thompson, também conhecido como Conde Rumford, e o médico alemão Julius Robert Mayer.

James Prescott Joule nasceu em 24 de dezembro de 1818 em Salford, próximo a Manchester, na Inglaterra, e faleceu em 11 de outubro de 1889, em Sale, próximo a Londres. Aos 16 anos, foi para a Universidade de Cambridge e iniciou seus estudos em Ciências e Matemática sob a orientação do célebre químico inglês John Dalton (1786-1844).

Inicialmente, Joule dedicou-se às pesquisas sobre a constituição dos gases e sobre o calor. Em dezembro de 1840, ele encaminhou um trabalho à Royal Society of London sobre a produção de calor na passagem de corrente elétrica em um fio condutor. Esse trabalho, publicado em 1841 na *The Philosophical Magazine*, passou a ser conhecido na eletricidade como o **efeito Joule**.

Entre os anos de 1843 e 1850, Joule realizou e publicou vários experimentos relacionados à lei da conservação de energia, envolvendo as energias química, elétrica, calorífica e mecânica. Com esses trabalhos, Joule conseguiu estabelecer que calor e trabalho são intercambiáveis, isto é, o calor pode ser transformado em trabalho e vice-versa, e concluiu que a relação entre ambos é constante e inteiramente independente dos materiais ou dos processos empregados nessas transformações.

No seu experimento mais importante, apresentado em uma monografia em 1845, Joule realizou medições da variação de temperatura da água contida em um recipiente quando agitada pela rotação de pás, as quais eram acionadas pela queda de massas. Com isso, Joule conseguiu determinar a relação entre o trabalho mecânico (queda das massas) e o calor relacionado ao aumento de temperatura da água.

O reconhecimento à importância de sua obra veio após a sua morte, pois, em sua homenagem, a unidade de energia do Sistema Internacional passou a se chamar joule.

Benjamin Thompson nasceu em 26 de março de 1753 em Woburn, Massachusetts, nos Estados Unidos, e faleceu em 21 de agosto de 1814, em Paris, na França. Thompson se distinguiu como reformista social, inventor e físico; fundou a Royal Institution.

Em 1798, Thompson encaminhou à Royal Society of London o trabalho intitulado *Uma investigação concernente à fonte de calor que é produzido por fricção*, no qual conclui ser o calor uma forma de energia.

> [...] em Munich [Alemanha] ele realizou sua maior contribuição à física. Visitando o arsenal ficou impressionado pelo considerável nível de aquecimento atingido pelos canhões durante a usinagem. Naquela época, pensava-se que o calor era constituído por uma substância sutil, o "calórico", que era forçado para fora do metal durante a operação de usinagem. Porém Rumford [Thompson] mostrou, usando uma broca cega, que uma quantidade aparentemente ilimitada de calor podia ser obtida a partir de uma única peça e que o calórico não deveria ter massa. Ele concluiu que o calórico não existia e que o calor era devido ao movimento das partículas dos corpos. Prosseguiu, procurando medir a relação entre trabalho e calor, obtendo um resultado com uma diferença de 30% em relação ao valor admitido atualmente. Esse conceito foi fundamental para a física moderna, e a relação quantitativa entre trabalho e calor foi logo estudada com grande cuidado por Joule.

Fonte: Disponível em: <www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/person/rumford.htm>. Acesso em: 2 out. 2015.

Franklin Delano Roosevelt (1882-1945), 32º presidente dos Estados Unidos, considerava Thompson, junto com Benjamin Franklin (1706-1790) e Thomas Jefferson (1743--1826), uma das mais brilhantes mentes que os Estados Unidos haviam produzido.

Julius Robert Mayer nasceu em 25 de novembro de 1814 em Heilbroon, Alemanha, e faleceu em 20 de março de 1878 em sua cidade natal.

Médico de formação, mas apaixonado pela Física, Mayer publicou, em 1841, um artigo sobre os aspectos qualitativos e quantitativos na determinação de forças. Posteriormente, em 1842, ele apresentou sua própria teoria mecânica do calor no trabalho denominado *Observações sobre as forças da natureza inanimada*, tendo deduzido o valor do equivalente mecânico da quantidade de calor.

Após a sua morte, Mayer foi reconhecido pelo desenvolvimento da *lei da conservação de energia*, considerada uma das descobertas mais significantes na história da Física, fundamental para a Termodinâmica, espinha dorsal da Física Moderna e base para a Teoria da Relatividade de Albert Einstein.



Mansell/The LIFE Picture Collection/Getty Images

Retrato de Julius Robert Mayer.

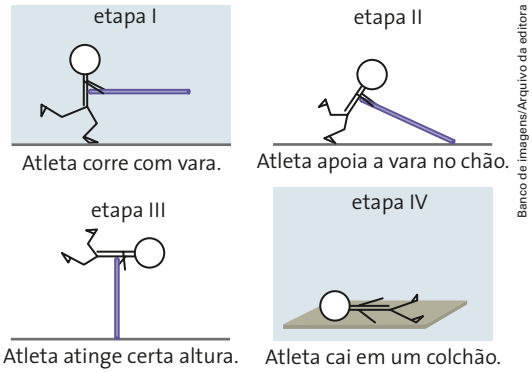
Trabalho em equipe

Faça uma pesquisa, em grupo, sobre as contribuições de Benjamin Thompson (conde Rumford), Julius Robert Mayer e James Prescott Joule para os conceitos de calor e energia e sua conservação. Nessa pesquisa, alguns pontos merecem destaque: a escala absoluta de temperatura e as observações de Mayer em relação à cor do sangue humano de pessoas na Indonésia.

RONAN, Colin A. *História ilustrada da ciência* – A ciência nos séculos XIX e XX. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997. v. IV.
PIRES, Antonio S.T. *Evolução das ideias da Física*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.
ROCHA, José F. (Org.). *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: Edufba, 2002.

Retomando

25. (Enem) Uma das modalidades presentes nas olímpiadas é o salto com vara. As etapas de um dos saltos de um atleta estão representadas na figura:



Banco de imagens/Arquivo da editora

Desprezando-se as forças dissipativas (resistência do ar e atrito), para que o salto atinja a maior altura possível, ou seja, o máximo de energia seja conservada, é necessário que:

a) a energia cinética, representada na etapa **I**, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa **IV**.

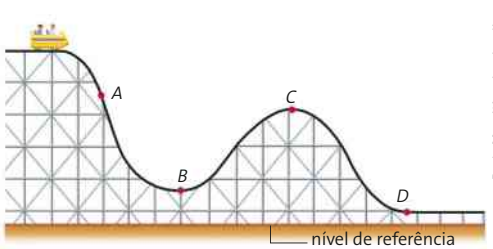
b) a energia cinética, representada na etapa **II**, seja totalmente convertida em energia potencial gravitacional, representada na etapa **IV**.

X c) a energia cinética, representada na etapa **I**, seja totalmente convertida em energia potencial gravitacional, representada na etapa **III**.

d) a energia potencial gravitacional, representada na etapa **II**, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa **IV**.

e) a energia potencial gravitacional, representada na etapa **I**, seja totalmente convertida em energia potencial elástica, representada na etapa **III**.

26. Consideradas por muitos uma diversão radical, as montanhas-russas constituem um dos grandes atrativos de um parque de diversões. A figura ilustra (sem escala e em cores fantasia) um carrinho de massa 100 kg movimentando-se em uma montanha-russa, em um local onde a aceleração da gravidade pode ser considerada igual a 10 m/s².

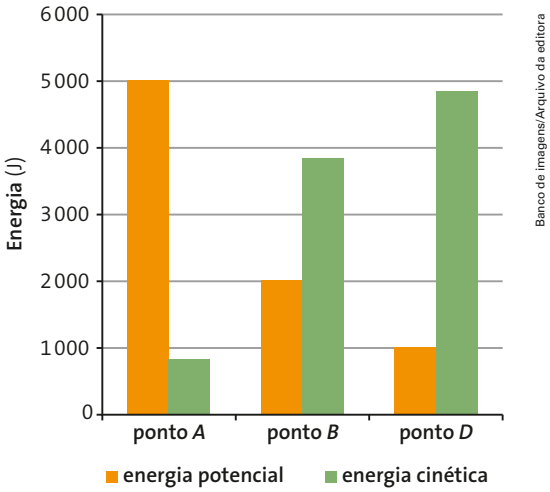


Paulo Manzi/Arquivo da editora

Em relação ao nível de referência, os pontos *A*, *B*, *C* e *D*, encontram-se, a 5,0 m, 2,0 m, 4,0 m e 1,0 m de altura, respectivamente.

No gráfico em forma de barras a seguir são fornecidos os valores da energia potencial e da energia cinética do carrinho, em joules, nos pontos *A*, *B* e *D*.

Energias cinética e potencial do carrinho



Banco de imagens/Arquivo da editora

Podemos afirmar que, no ponto *C*, a energia potencial, a energia cinética e a velocidade do carrinho valem, respectivamente:

a) 5 800 J; 0 e 0.

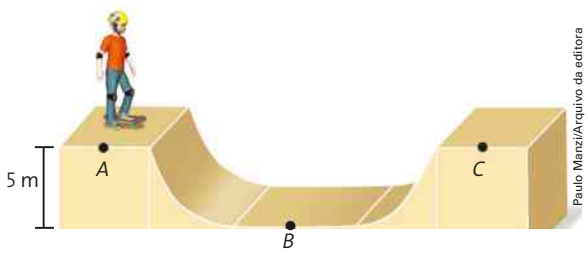
b) 3 800 J; 2 000 J e 8,7 m/s.

c) 2 000 J; 3 800 J e 8,7 m/s.

X d) 4 000 J; 1 800 J e 6,0 m/s.

e) 1 000 J; 4 800 J e 9,8 m/s.

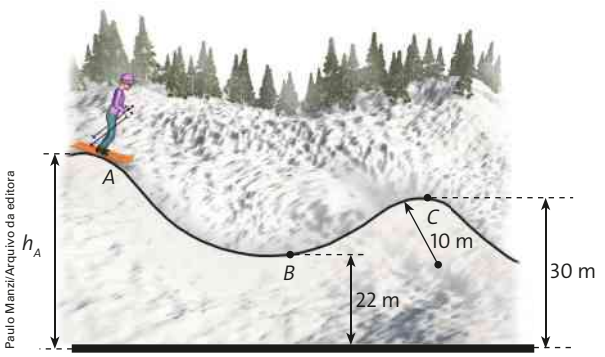
27. Um jovem com massa 60 kg prepara-se para se divertir em uma rampa de *skate*, conforme mostra a figura (sem escala e em cores fantasia). Considere que o ponto *C* esteja na mesma altura, em relação a *B*, que o ponto *A*. Se necessário, adote $g = 10$ m/s². Despreze os atritos.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

a) Se o jovem partir do repouso do ponto *A*, ele conseguirá atingir o ponto *C*? Sim.
b) Qual é a maior velocidade com que ele pode passar pelo ponto *B*? $v = 10$ m/s.
c) Considerando o sistema conservativo, qual é a energia cinética do jovem quando ele se encontra em um ponto à direita do ponto *B* e a 1,0 m do solo? $E_C = 2\,400$ J.

28. (Unifesp) Uma pista de esqui para treinamento de principiantes foi projetada de modo que, durante o trajeto, os esquiadores não ficassem sujeitos a grandes acelerações, nem perdessem contato com nenhum ponto da pista. A figura representa o perfil de um trecho dessa pista, no qual o ponto *C* é o ponto mais alto de um pequeno trecho circular de raio de curvatura igual a 10 m.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

fora de escala

Os esquiadores partem do repouso no ponto *A* e percorrem a pista sem receber nenhum empurrão, nem usam os bastões para alterar sua velocidade. Adote $g = 10$ m/s² e despreze o atrito e a resistência do ar.

a) Se um esquiador passar pelo ponto *B* da pista com velocidade $10\sqrt{2}$ m/s, com que velocidade ele passará pelo ponto *C*? $v = 6{,}3$ m/s.
b) Qual a maior altura h_A do ponto *A*, indicada na figura, para que um esquiador não perca contato com a pista em nenhum ponto de seu percurso? $h_A = 35$ m.

29. (UEL-PR) Para colocar um pacote de 40 kg sobre a carroceria de seu veículo, um entregador de encomendas utiliza uma rampa inclinada para puxá-lo. A rampa, de 3,0 m de comprimento, está apoiada no chão e na carroceria e faz um ângulo de 20° com o chão, que é plano. O coeficiente de atrito cinético entre a rampa e pacote é 0,20. O entregador emprega uma força sobre o pacote que o faz subir pelo plano inclinado com velocidade constante. O entregador não desliza sobre a carroceria quando puxa o pacote. Considerando cos 20° = 0,94, sen 20° = 0,34 e $g = 10$ m/s²,

a) faça o diagrama de corpo livre e calcule o trabalho realizado pelo entregador sobre o pacote até este alcançar a carroceria do veículo; $\tau = 633$ J.
b) calcule a variação da energia potencial do pacote. $\Delta E_{PG} = 408$ J.

30. (Enem) Um carro solar é um veículo que utiliza apenas a energia solar para a sua locomoção. Tipicamente, o carro contém um painel fotovoltaico que converte a energia do Sol em energia elétrica que, por sua vez, alimenta um motor elétrico. A imagem mostra o carro solar *Tokai Challenger*, desenvolvido na Universidade de Tokai, no Japão, e que venceu o *World Solar Challenge* de 2009, uma corrida internacional de carros solares, tendo atingido uma velocidade média acima de 100 km/h.


Geert Vanden Wijngaert/AP Photo/Glow Images

Disponível em: <www.physics.hku.hk>. Acesso em: 3 jun. 2015.

Considere uma região plana onde a insolação (energia solar por unidade de tempo e de área que chega à superfície da Terra) seja de 1000 W/m², que o carro solar possua massa de 200 kg e seja construído de forma que o painel fotovoltaico em seu topo tenha uma área de 9,0 m² e rendimento de 30%. Desprezando as forças de resistência do ar, o tempo que esse carro solar levaria, a partir do repouso, para atingir a velocidade de 108 km/h é um valor mais próximo de

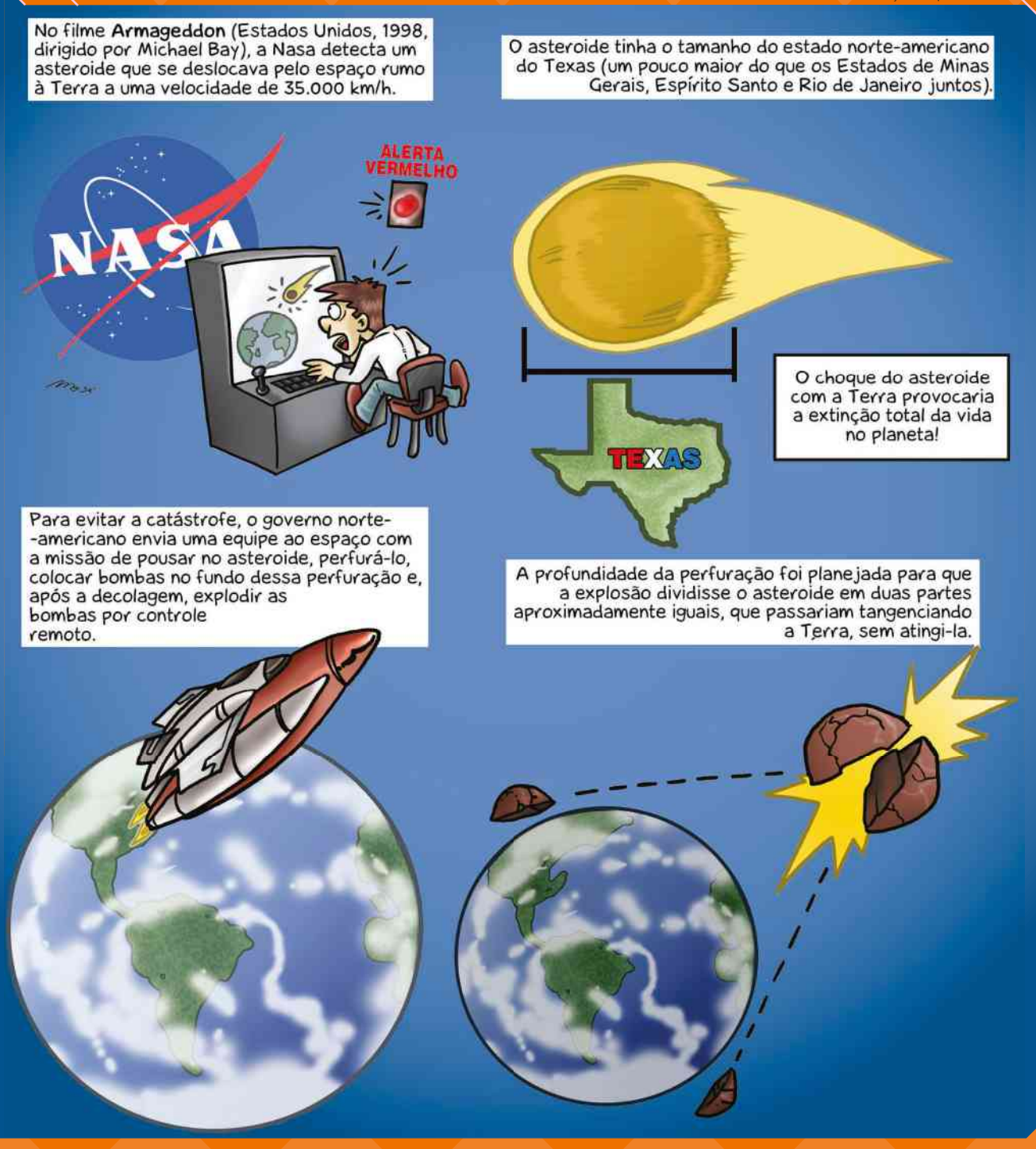
a) 1,0 s.
b) 4,0 s.
c) 10 s.
X d) 33 s.
e) 300 s.

CAPÍTULO 8

Quantidade de movimento

Professor, veja orientações e sugestões de encaminhamento dos assuntos deste capítulo no Manual do Professor.

Moisés Gonçalves/Arquivo da editora



A solução imaginada pelos técnicos que planejaram a missão tem respaldo científico?

1 Quantidade de movimento linear

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

No século XVII, a conservação de determinadas grandezas físicas associadas ao movimento foi um tema controverso entre os físicos. Alguns deles, como René Descartes (1596-1650), defendiam a tese de que a **quantidade de movimento** era a verdadeira grandeza conservada nos movimentos, enquanto outros, como Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716), defendiam a **força-viva** como a grandeza conservada. Leia o texto da seção **Física tem História**.

Física tem História

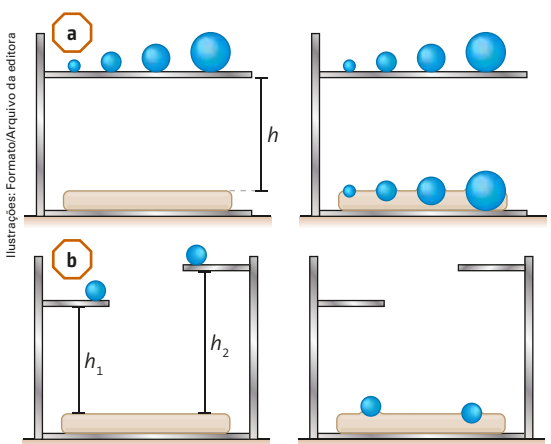
[...] A mecânica newtoniana é uma teoria do movimento. Como tal, ela descreve as variações de certas quantidades – a velocidade e a posição – em função do tempo. No entanto, uma vez que as equações são expressas sob uma forma adequada, constata-se que, apesar da mudança aparente, certas grandezas permanecem invariantes no curso do movimento.

Antes mesmo da aceitação da teoria de Isaac Newton (1642-1727), Descartes e Leibniz haviam sugerido a existência dessas grandezas. No caso de Descartes, foi a "quantidade de movimento", que ele definiu como o produto da quantidade de matéria do corpo por sua velocidade. Na mecânica newtoniana, em que a quantidade de matéria nada mais é que a massa, a quantidade de movimento de um corpo é, portanto, igual à sua massa multiplicada por sua velocidade. Leibniz, por sua vez, introduziu uma grandeza conservada, que batizou de "força" – distinta, lembremos, da força newtoniana – e que é a soma de dois elementos: a "força-viva", definida hoje – em termos um pouco diferentes dos de Leibniz – como a metade do produto da massa pelo quadrado da velocidade, e a "força-morta", igual ao produto do peso por sua altitude.

Os respectivos discípulos de Descartes e de Leibniz discutiram por muito tempo sobre a verdadeira grandeza conservada durante o movimento: seria a quantidade de movimento ou a "força"? A mecânica newtoniana deveria finalmente dar razão às duas teorias, estabelecendo que a quantidade de movimento cartesiana e a "força" leibniziana são ambas conservadas.

BENDOV, Yoav. *Convite à Física*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1996. p. 43.

Duas grandezas físicas são relevantes no movimento de um corpo: a **massa** e a **velocidade.** A relevância dessas grandezas pode ser verificada por meio de um experimento simples, no qual esferas maciças de aço de vários tamanhos são soltas de diferentes alturas e se chocam contra uma massa de vidraceiro (figuras 8.1.a e 8.1.b).



Ilustrações: Formato/Arquivo da editora

Figura 8.1 Em (**a**), quanto maior a massa das esferas, maior a penetração no bloco de massa de vidraceiro. Em (**b**), quanto maior a altura de que a esfera é solta, maior a penetração no bloco de massa de vidraceiro. Representação sem escala e em cores fantasia.

Para refletir

Com base no Capítulo 7, qual é o significado atual dos termos "força-viva" e "força-morta" citados no texto?

Veja resposta no Manual do Professor.

Massa de vidraceiro – Pasta à base de alvaiade (pigmento branco, que pode ser o carbonato básico de chumbo ou o óxido de zinco) e óleo de linhaça, usada para fixar vidraças em portas e janelas e proporcionar vedação.

A penetração de uma esfera no bloco constituído pela massa de vidraceiro será mais profunda quanto maior for a sua velocidade no momento do impacto ou quanto maior for a massa da esfera para a mesma velocidade.

Assim, quando um corpo está em movimento, associamos a ele uma grandeza vetorial, denominada **quantidade de movimento linear** $\vec{Q}$ ou **momento linear**, dada pelo produto da massa m pela velocidade vetorial do corpo $\vec{v}$:

$$\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$$

No cálculo da quantidade de movimento de um corpo, utilizamos as unidades do Sistema Internacional (SI): a **massa**, em quilograma (**kg**) e a **velocidade** em metro por segundo (**m/s**). A **quantidade de movimento linear** do corpo é dada em quilograma vezes metro por segundo (**kg · m/s**).

O exemplo a seguir ilustra o caráter vetorial da quantidade de movimento linear. Quando um tenista rebate uma bola com sua raquete (figura 8.2), ele altera a quantidade de movimento linear da bola, mesmo que a rebatida seja na mesma direção inicial e o módulo da velocidade tenha sido mantido. Há mudança no sentido da velocidade, o que caracteriza uma alteração na quantidade de movimento linear da bola.



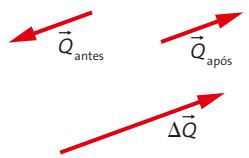
Antonio Robson/Arquivo da editora

Figura 8.2 Representação (sem escala e em cores fantasia) de um tenista rebatendo uma bola na mesma direção e com o mesmo módulo da velocidade.

A variação vetorial da quantidade de movimento linear da bola $\Delta\vec{Q}$ é dada pela subtração vetorial entre as quantidades de movimento linear após $\vec{Q}_{após}$ e antes $\vec{Q}_{antes}$ da interação:

$$\Delta\vec{Q} = \vec{Q}_{após} - \vec{Q}_{antes}$$

Na figura 8.3, temos a representação vetorial das quantidades de movimento antes e após a interação, bem como a variação vetorial da quantidade de movimento linear da bola.



Banco de imagens/ Arquivo da editora

Figura 8.3 Representação dos vetores quantidade de movimento antes e após a interação e a variação vetorial da quantidade de movimento linear $\Delta\vec{Q}$.

Nesse caso em particular, os módulos das quantidades de movimento da bola, antes e após a interação com a raquete, são iguais:

$$Q_{antes} = Q_{após} = m \cdot v$$

E o módulo da variação da quantidade de movimento linear é dado por:

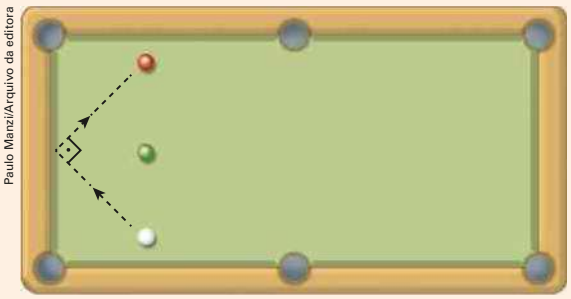
$$\Delta Q = m \cdot v - (-m \cdot v) \Rightarrow \Delta Q = 2 \cdot m \cdot v$$

Não é comum, porém, que um tenista rebata a bola exatamente na mesma direção inicial e com a mesma velocidade. Com o objetivo de colocar a bola fora do alcance do seu adversário, o tenista pode rebatê-la alterando sua velocidade, tanto em direção e sentido como em intensidade. Nesses casos, o vetor variação quantidade de movimento linear da bola $\Delta\vec{Q}$ é obtido pela subtração dos vetores $\vec{Q}_{após}$ e $\vec{Q}_{antes}$.

$$\Delta\vec{Q} = \vec{Q}_{após} - \vec{Q}_{antes} = \vec{Q}_{após} + (-\vec{Q}_{antes})$$

Exercício resolvido

Numa mesa de sinuca, um jogador, para acertar a bola vermelha, dá uma tacada na bola branca fazendo com que ela se movimente conforme mostra a figura (sem escala e em cores fantasia). Suponha que a bola branca, com massa de 0,3 kg, incida na tabela da mesa com velocidade de 8,0 m/s e retorne, perpendicularmente à direção inicial, com velocidade de 6,0 m/s. Determine o módulo da variação da quantidade de movimento linear da bola.


Paulo Manzi/Arquivo da editora

Resolução:

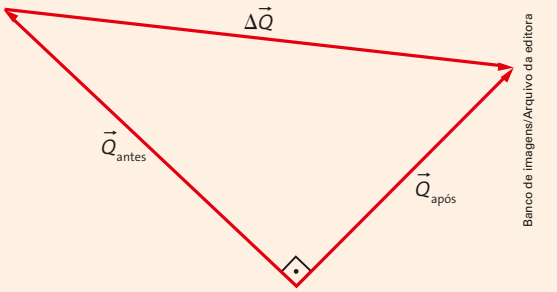
O módulo da quantidade de movimento linear com que a bola incide na tabela é dado por:

$Q_{antes} = m \cdot v_{antes} \Rightarrow Q_{antes} = 0{,}3 \cdot 8 = 2{,}4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

E o módulo da quantidade de movimento linear com que a bola se afasta da tabela é dado por:

$Q_{após} = m \cdot v_{após} \Rightarrow Q_{após} = 0{,}3 \cdot 6 = 1{,}8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

Na figura seguinte, temos os vetores que representam as quantidades de movimento linear da bola antes $\vec{Q}_{antes}$ e após $\vec{Q}_{após}$, bem como o vetor que representa a variação da quantidade de movimento linear da bola $\Delta\vec{Q}$.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Como os três vetores formam um triângulo retângulo, aplicamos o teorema de Pitágoras para obter o módulo do vetor variação quantidade de movimento linear:

$\Delta Q^2 = Q_{antes}^2 + Q_{após}^2 \Rightarrow \Delta Q^2 = 2{,}4^2 + 1{,}8^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta Q = \sqrt{5{,}76 + 3{,}24} \Rightarrow \Delta Q_{após} = 3{,}0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

Exercícios

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

1. Dois ônibus iguais, parados em um sinal luminoso (sinaleira), são atingidos na traseira – um deles por um caminhão, e o outro, por um carro. Observa-se que o ônibus atingido pelo carro foi mais danificado do que o ônibus atingido pelo caminhão. Como você explica esse fato?
Veja resposta no Manual do Professor.

2. Durante uma partida de futebol, o chute de um jogador faz com que a bola, com massa de 400 g e velocidade de 20 m/s, acerte a trave do time adversário. A bola retorna na mesma direção inicial, mas com velocidade de 15 m/s. Nessas condições, houve variação na quantidade de movimento linear da bola? Em caso negativo, justifique. Em caso positivo, calcule a variação. Sim; $\Delta Q = 14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

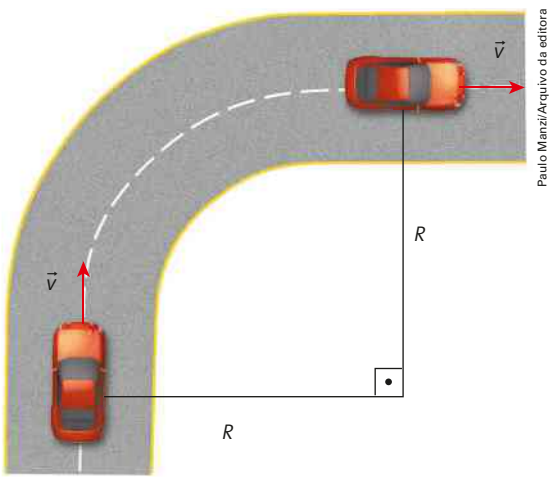
3. Uma pedra de 1,0 kg de massa é solta, a partir do repouso, do alto de um prédio de altura h e atinge o solo com energia cinética de 200 J. Desprezando a resistência do ar e considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

a) a altura h do prédio; $h = 20$ m.

b) a quantidade de movimento da pedra no alto do prédio e no instante em que ela atinge o solo.

$Q_i = 0$; $Q_f = 20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$.

4. Um carro de corrida, com massa m, entra em uma curva com velocidade v e sai da curva com a mesma velocidade em módulo, conforme mostra a figura (sem escala e em cores fantasia).



Paulo Manzi/Arquivo da editora

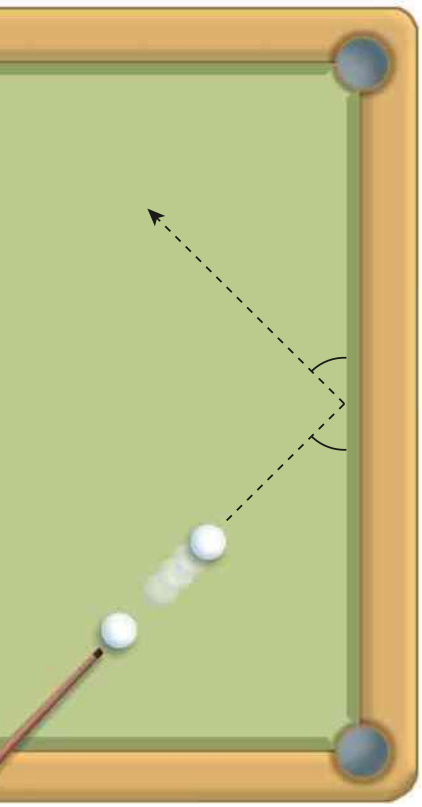
a) As quantidades de movimento linear no início e no final da curva são iguais? Justifique. Não.

b) Calcule o módulo da variação da quantidade de movimento linear do carro em razão da curva.

$\Delta Q = \sqrt{2}\, m \cdot v$

2 Impulso de uma força

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 8.4 Representação (sem escala e em cores fantasia) da interação entre a bola e a tabela da mesa resultando numa variação de sua quantidade de movimento linear.

No tópico anterior, mostramos que a quantidade de movimento linear de um corpo pode sofrer alteração. Mas que agente é responsável por essa alteração?

A resposta a essa questão está vinculada ao conceito denominado **impulso**: toda vez que um corpo sofre uma variação em sua quantidade de movimento linear, dizemos que ele sofreu um impulso.

A origem do impulso é uma força que age no corpo durante determinado intervalo de tempo. Então, para que um corpo receba um impulso, ele precisa interagir com algum outro corpo. No caso específico mostrado no exercício resolvido 1, a bola de bilhar interagiu com a tabela da mesa. Essa interação resultou em uma troca de forças entre a bola e a tabela e a força exercida pela tabela, agindo durante determinado intervalo de tempo, provocou um impulso na bola e, consequentemente, uma variação na sua quantidade de movimento linear (**figura 8.4**).

Como a quantidade de movimento linear, o **impulso** $\vec{I}$ também é uma grandeza vetorial, dado pelo produto da força $\vec{F}$ pelo intervalo de tempo Δt:

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

No SI, temos: força em newton (N); intervalo de tempo em segundo (s) e impulso em newton vezes segundo (N · s).

Em um corpo sob a ação de várias forças que agem simultaneamente, a quantidade de movimento linear pode, ou não, sofrer alteração, dependendo da soma vetorial das várias forças, ou seja, da força resultante no corpo. Se a força resultante for nula, o impulso também será nulo e, nessas condições, a quantidade de movimento linear do corpo não se alterará. Se a força resultante não for nula, o corpo ficará sujeito a um impulso dado pelo produto da força resultante pelo intervalo de tempo considerado:

$$\vec{I}_R = \vec{F}_R \cdot \Delta t$$

Teorema do impulso

O impulso resultante é igual à variação da quantidade de movimento do corpo. Essa relação é conhecida como **teorema do impulso**, que demonstraremos a seguir.

Com base na segunda lei de Newton, o impulso resultante pode ser dado por:

$$\vec{I}_R = \vec{F}_R \cdot \Delta t \Rightarrow \vec{I}_R = m \cdot \vec{a} \cdot \Delta t$$

Lembrando que a aceleração vetorial é igual à variação da velocidade vetorial por unidade de tempo, a expressão acima pode ser escrita como:

$$\vec{I}_R = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \cdot \Delta t \Rightarrow \vec{I}_R = m \cdot \Delta \vec{v}$$

$$\vec{I}_R = m \cdot (\vec{v} - \vec{v}_0) \Rightarrow \vec{I}_R = m \cdot \vec{v} - m \cdot \vec{v}_0$$

Como o produto da massa pela velocidade é a quantidade de movimento, temos:

$$\vec{I}_R = \vec{Q} - \vec{Q}_0 = \Delta \vec{Q}$$

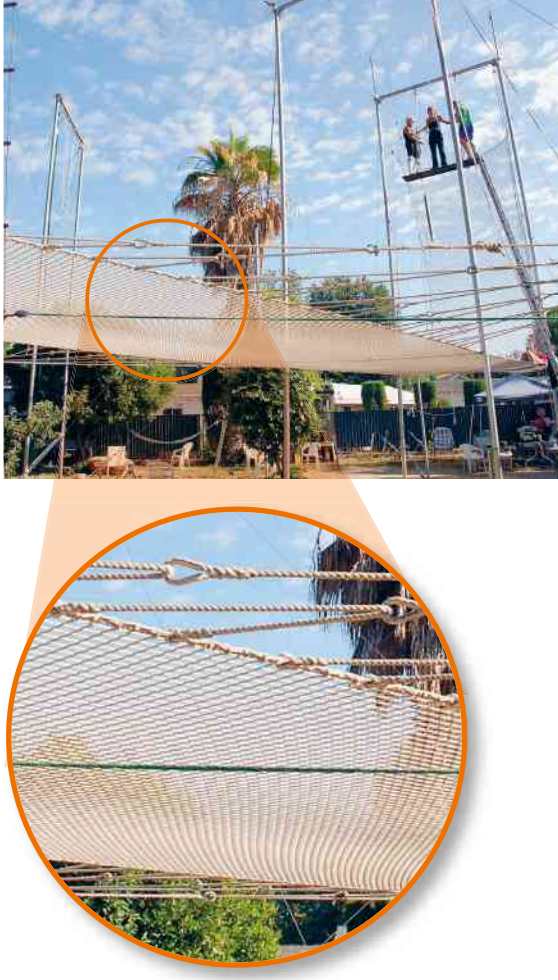
Essa expressão representa o teorema do impulso: **o impulso resultante de um sistema de forças sobre um corpo é igual à variação da quantidade de movimento linear do corpo.**

Com base no teorema do impulso, podemos concluir que a mesma variação na quantidade de movimento linear de um corpo pode ser produzida de dois modos:

- por meio de uma força de grande intensidade num intervalo de tempo de pequena duração;
- ou por meio de uma força de pequena intensidade num intervalo de tempo de grande duração.

Vejamos um exemplo. Observe na **figura 8.5** que existe uma rede de proteção abaixo dos trapezistas em uma exibição circense.

Se o artista perder o equilíbrio e cair, a rede de proteção amortecerá a queda, evitando o impacto direto contra o solo, o que poderia ser fatal. Na rede, a força média de retardamento age na pessoa por uma distância maior do que se o impacto fosse diretamente contra o solo. Aumentando-se a distância de ação da força, eleva-se o tempo de interação desta e, para produzir a mesma variação na quantidade de movimento, a intensidade da força média é menor.



Bukley/Shutterstock.com

Figura 8.5 A rede de proteção usada no circo por trapezistas amortece uma eventual queda.

Trabalho em equipe

Em equipe, pesquisem outras situações cotidianas que se encaixam no primeiro caso (força grande, intervalo de tempo pequeno), ou no segundo caso (força pequena, intervalo de tempo grande). Apresentem seus resultados em sala de aula e discutam todas as situações apresentadas.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Exercícios

5. a) Ambos sofrem a mesma variação de quantidade de movimento.

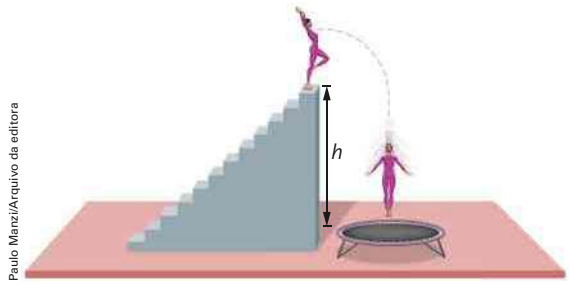
5. Uma pessoa deixa cair dois ovos da mesma altura. Um deles cai no chão e quebra, enquanto o outro cai sobre um tapete espesso e não quebra.

a) Qual deles sofreu a maior variação na quantidade de movimento linear?

b) Explique por que um deles quebrou e o outro não.

Veja resposta no Manual do Professor.

6. Em um espetáculo circense, uma jovem de 50 kg, colocada no alto de uma escada, salta horizontalmente e cai em pé sobre uma cama elástica que freia o seu movimento durante 0,4 s e empurra-a de volta para cima, conforme mostra a figura (sem escala e em cores fantasia).



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Considere $h = 1{,}8$ m, $g = 10$ m/s². Nessas condições, qual é o módulo da força média que a cama elástica exerce sobre a jovem até pará-la? $F_{e_{méd}} = 1250$ N

7. Dois carros de testes, movimentando-se com a mesma velocidade, sofrem uma colisão frontal. Um deles possui *airbag* e o outro não. Considere que os motoristas dos carros sejam robôs de mesma massa. Sabendo que com o *airbag* o tempo de colisão do motorista, desde o início da colisão até a sua completa imobilização, é maior do que sem o *airbag*, analise as afirmações a seguir e reescreva, em seu caderno, aquelas que você julgar incorretas, corrigindo-as. Veja o complemento da resposta no Manual do Professor.

I. Em razão da colisão, os dois motoristas sofrem a mesma variação de velocidade e a mesma variação de quantidade de movimento.

II. Os impulsos exercidos sobre os dois motoristas são iguais.

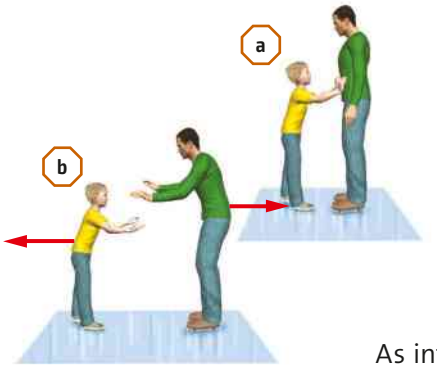
X III. A intensidade da força média exercida sobre o motorista com *airbag* é maior do que a exercida sobre o motorista sem *airbag*.

3 Sistemas isolados

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

A palavra "sistema" possui vários significados. Em Física, ela é usada para designar uma parte limitada do Universo que escolhemos para observação e análise. De modo geral, qualquer conjunto de corpos, ou de pontos materiais, constitui um sistema. Nada impede, porém, que o sistema seja constituído por um único corpo ou por um único ponto material.

Para exemplificar, vamos considerar a **figura 8.6**, na qual vemos um menino, de 50 kg, e um homem, de 80 kg, parados numa pista de patinação no gelo (**figura 8.6.a**). Num determinado instante, o menino empurra o homem e ambos entram em movimento (**figura 8.6.b**).



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 8.6 Situação em que a interação entre o homem e o menino demonstra forças internas ao sistema.

Se o nosso interesse for analisar somente o que acontece com o menino, o sistema será constituído por um único elemento: o menino. Nesse caso, o homem, o piso da pista e a Terra serão considerados elementos externos ao sistema. Se o nosso sistema for constituído pelo menino e pelo homem, somente o piso da pista e a Terra serão considerados elementos externos ao sistema.

As interações entre os elementos componentes de um sistema são classificadas como **forças internas** a ele; já as interações de qualquer elemento do sistema com um elemento externo a ele são classificadas como **forças externas ao sistema**.

Suponha que, na **figura 8.6**, o sistema seja constituído pelo homem e pelo menino. Nesse caso, a interação entre eles, caracterizada pelo empurrão dado pelo menino no homem, é uma força interna ao sistema. As forças peso do homem e peso do menino (interação de cada componente do sistema com a Terra), bem como as forças de contato (normal e atrito) dos componentes do sistema com o piso da pista de gelo, são consideradas forças externas ao sistema.

Vejamos algo que normalmente acontece nessas situações: o fato de o homem e o menino estarem usando patins torna o atrito praticamente desprezível e, como as forças normal e peso se equilibram, o somatório das forças externas ao sistema é nulo. Nessas condições, dizemos que o sistema (homem + menino) é isolado de forças externas.

Vamos agora, por meio de dois exemplos, analisar uma propriedade importante dos **sistemas isolados de forças externas**. Comecemos com a situação mostrada na **figura 8.6**. Observe que, antes de o menino empurrar o homem, ambos estavam parados. Desse modo, a quantidade de movimento linear inicial do sistema (homem + menino) é igual a zero.

Suponha que, com o empurrão, o menino (50 kg) consiga fazer com que o homem (80 kg) entre em movimento na horizontal e para a direita com velocidade de 0,25 m/s. Se realizarmos essa experiência, verificaremos que o menino entrará em movimento na horizontal e para a esquerda com velocidade de 0,40 m/s (**figura 8.7**).

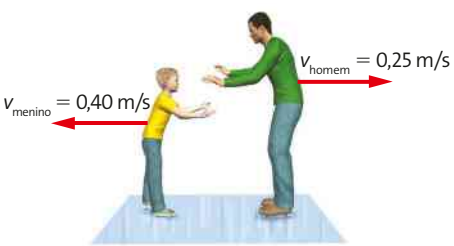


Figura 8.7 Em módulo, as quantidades de movimento do menino e do homem são iguais. Em quais condições isso se verifica?

Nas condições da **figura 8.7**, observamos que a quantidade de movimento linear final do sistema também é igual a zero, pois:

$$Q_{final\,sist.} = Q_{homem} + Q_{menino} \Rightarrow Q_{final\,sist.} = m_h \cdot v_h + m_m \cdot v_m \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{final\,sist.} = 80 \cdot 0{,}25 + 50 \cdot (-0{,}40) \Rightarrow Q_{final\,sist.} = 0$$

Comparando as quantidades de movimento linear do sistema antes e após a interação, vemos que elas são iguais – ambas iguais a zero. Será isso uma coincidência ou algo que sempre se verifica?

Na realidade, não se trata de coincidência. O que se constata em todos os sistemas isolados de forças externas é que a quantidade de movimento permanece constante. Assim, podemos enunciar a conservação da quantidade de movimento linear:

> Nos sistemas isolados de forças externas, a quantidade de movimento linear total se conserva.

A conservação da quantidade de movimento linear deve ser aplicada ao sistema – e não aos componentes dele. No caso específico da interação entre o menino e o homem, tanto a quantidade de movimento linear do menino como a do homem variaram em razão da interação entre eles, mas a quantidade de movimento linear total do sistema (menino + homem) se conservou.

As **figuras 8.8** e **8.9** ilustram algumas situações práticas nas quais se verifica o princípio de conservação da quantidade de movimento do sistema.

Os foguetes movimentam-se queimando combustível e expelindo-o com grande velocidade na forma de gases. De acordo com o princípio da conservação da quantidade de movimento linear, à medida que os gases são expelidos em uma dada direção e um dado sentido, o foguete ganha velocidade no sentido contrário.



Asahi Shimbun/Getty Images

Figura 8.8 Lançamento de foguete carregando o satélite Daich-2. Kagoshima, Japão, 2014.



Brandon Alms/Shutterstock/Glow Images

Figura 8.9 No disparo, o canhão recua, pois adquire quantidade de movimento oposta à do projétil.

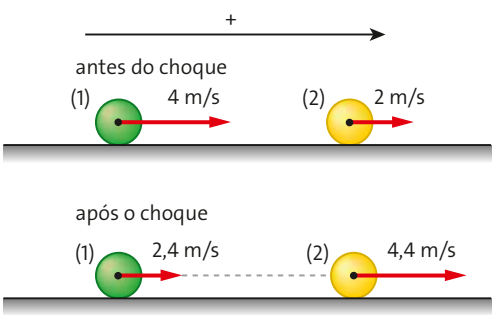
ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

Exercícios

8. Na história em quadrinhos da abertura deste capítulo deixamos uma questão em aberto: a solução imaginada para evitar o choque do asteroide com a Terra tem respaldo científico? Elabore sua resposta com base no princípio da conservação da quantidade de movimento linear.

Veja resposta no Manual do Professor.

9. A figura a seguir representa (sem escala e em cores fantasia) um choque entre duas bolas, 1 e 2, de massas iguais a 6,0 kg e 4,0 kg, respectivamente.



Banco de imagens/Arquivo da editora

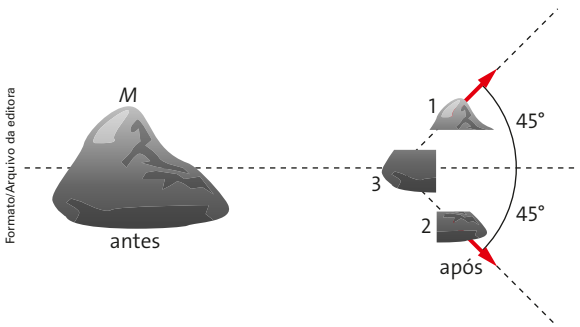
Verifique se, nesse choque, houve conservação da quantidade de movimento linear:

a) de cada bola; Não, de nenhuma delas.

b) do sistema formado pelas duas bolas.

Sim, a quantidade de movimento total do sistema é conservada.

10. Uma explosão divide uma rocha (em repouso) em três partes iguais. Duas partes se movimentam com velocidades de módulos iguais, conforme mostra a figura (sem escala e em cores fantasia).



Formato/Arquivo da editora

Qual dos vetores a seguir melhor representa o movimento da terceira parte?

a) →

b) ↑

X c) ←

d) ↓

e) ↗

4 Centro de massa

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

Física explica

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

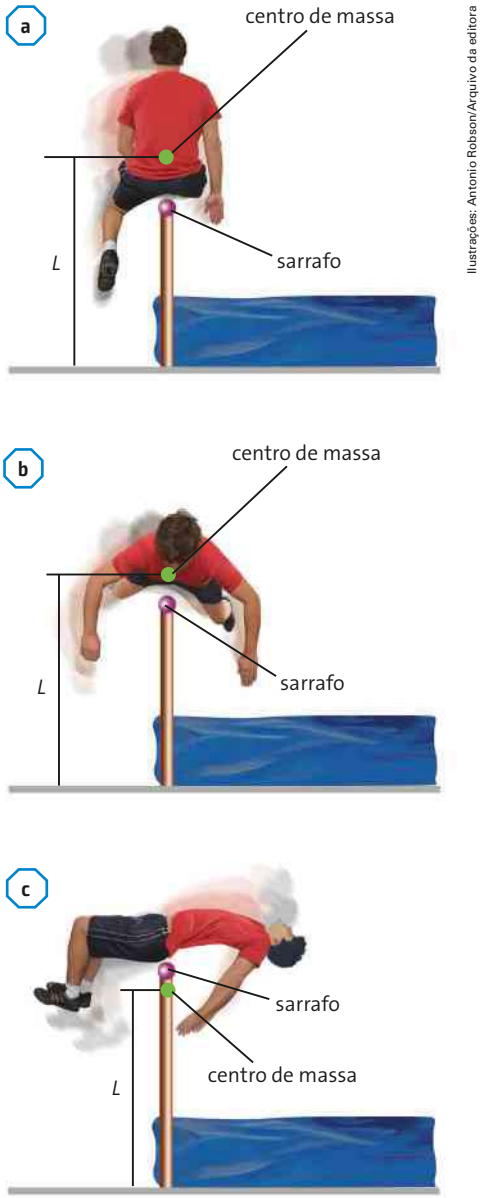
Quando Richard Douglas "Dick" Fosbury (1947-) venceu a prova de salto em altura nos Jogos Olímpicos da Cidade do México, em 1968, inaugurou o que parecia ser um jeito muito estranho de saltar. Essa técnica ficou conhecida como *Fosbury flop* e é usada atualmente por quase todos os atletas dessa modalidade. Para executar o salto, o atleta corre a um ritmo cadenciado até o sarrafo e, no último instante, vira o corpo, passando por cima do sarrafo de costas, com a barriga para cima. Qual é a vantagem desse estilo? Por que a aproximação do sarrafo é feita a um ritmo cadenciado?

A altura que é registrada no salto é, evidentemente, a altura do sarrafo, não a altura máxima da cabeça ou alguma outra parte do saltador. Suponha que, durante o salto, o atleta seja capaz de elevar o **centro de massa** a uma altura *L*. Se o atleta escolhe saltar conforme mostrado na figura **a**, o sarrafo tem de estar abaixo de *L* para não ser derrubado e, portanto, a altura do salto não é muito grande.

Na figura **b**, [...] o corpo do atleta se estende horizontalmente e pode passar com o **centro de massa** muito próximo do sarrafo, que, assim, pode ficar mais alto. Em um *flop*, (como mostrado na figura **c**) a curvatura do corpo em volta do sarrafo faz o **centro de massa** descer abaixo do corpo e o atleta consegue passar por cima de um sarrafo ainda mais alto [...].

A virada e o salto para trás no último momento do salto também possibilitam uma decolagem mais forte. A aproximação para o salto é mais lenta do que em uma corrida, porque a chave para o sucesso é uma execução impecável, de modo que o sincronismo é essencial.

WALKER, Jearl. *O circo voador da Física*. Rio de Janeiro: LTC, 2008. p. 18.



Ilustrações: Antonio Robson/Arquivo da editora

A altura do centro da massa (*L*) é a mesma nas três figuras.

Observe que o chamado **centro de massa**, que aparece em destaque no texto acima, apresenta a mesma altura *L* nos três casos, pois esta é determinada pela impulsão do atleta e não pela forma com que ele ultrapassa o sarrafo.

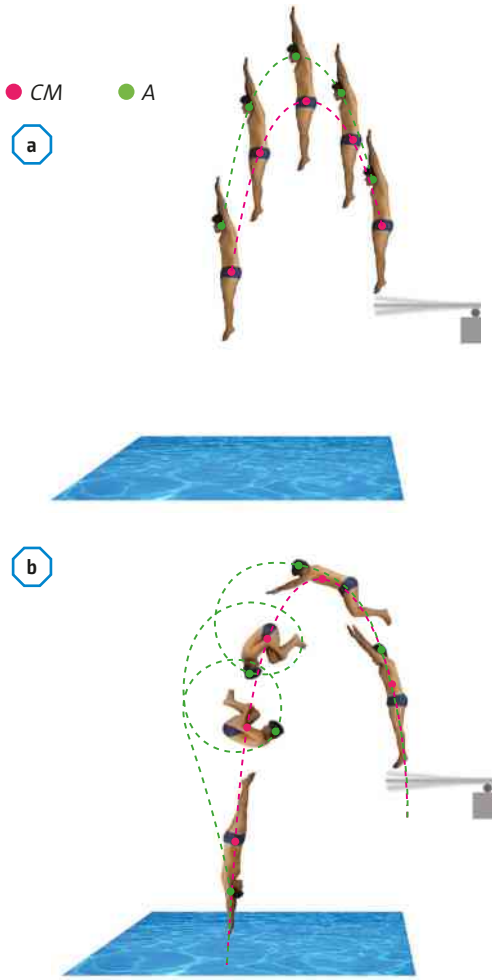
Esse ponto, que normalmente representamos por **CM** (centro de massa), assume um papel fundamental nos sistemas isolados, como veremos nos exemplos seguintes.

A **figura 8.10** mostra uma atleta em dois saltos ornamentais, executados de um trampolim em uma piscina.

Acompanhe o movimento do ponto *A* assinalado na cabeça da atleta em ambas as situações representadas. Na **figura 8.10.a**, a trajetória descrita por esse ponto é um arco de parábola, acompanhando a linha tracejada da figura. Já em **8.10.b**, o ponto *A* descreve uma trajetória complexa, ora à esquerda, ora à direita da linha tracejada. O movimento do *CM* é o mesmo nas duas situações: sua trajetória é um arco de parábola, tanto no movimento de translação pura como na combinação dos movimentos de translação e rotação.

Vejamos outro exemplo. As comemorações de final de ano geralmente incluem queima de fogos (**figura 8.11**). Se observarmos a trajetória de qualquer um dos artefatos que são lançados para cima, veremos que os fragmentos da explosão seguem novas trajetórias, mas sempre distribuídos em torno da trajetória original do explosivo. Em outras palavras, a trajetória do centro de massa é a mesma que antes da explosão, ou seja, a trajetória do centro de massa não é alterada devido à explosão.

Para efeitos dinâmicos, ao estudarmos um determinado sistema, podemos considerar toda a massa dele concentrada no seu centro de massa. O movimento do centro de massa representa o movimento do sistema como um todo.



Ilustrações: Antonio Robson/Arquivo da editora

Figura 8.10 Em (**a**), o movimento da atleta é de translação. Em (**b**) o atleta apresenta movimentos de translação e de rotação simultâneos. Representação sem escala e em cores fantasia.



dmitry_islentev/Shutterstock

Figura 8.11 Fogos de artifício durante festa de Ano-Novo na praia de Copacabana, Rio de Janeiro (RJ), 2014.

Ilustrações técnicas desta página: Formato/ Arquivo da editora

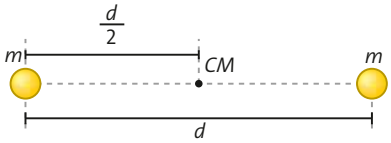


Figura 8.12 Representação unidimensional de um sistema constituído de duas partículas de mesma massa.

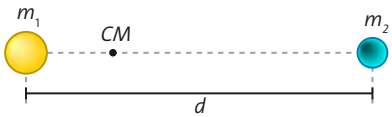


Figura 8.13 Localização do *CM* num sistema de duas partículas de massas diferentes.

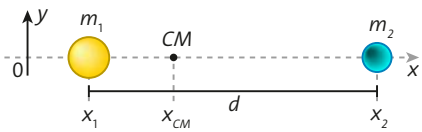


Figura 8.14 Representação cartesiana das posições das partículas de massas m_1 e m_2 e do centro de massa *CM* do sistema.

Mas como localizar o centro de massa de um sistema? No caso simples de um sistema constituído por apenas duas partículas, ambas de mesma massa e separadas por uma distância *d*, o *CM* encontra-se exatamente no ponto médio da distância *d* entre as massas (**figura 8.12**).

Se as partículas forem de massas diferentes, o centro de massa do sistema também estará entre elas, porém mais próximo da maior massa (**figura 8.13**).

Se usarmos coordenadas cartesianas para representar a posição de cada partícula (**figura 8.14**), a abscissa do centro de massa do sistema é dada por:

$$x_{CM} = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2}{m_1 + m_2}$$

Essa expressão pode ser generalizada para a determinação do centro de massa de um número qualquer (*n*) de partículas:

$$x_{CM} = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + \ldots + m_n \cdot x_n}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}$$

Podemos, também, demonstrar que a velocidade do centro de massa $\vec{v}_{CM}$, é dada pela expressão:

$$v_{CM} = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 + \ldots + m_n \cdot v_n}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}$$

Observe que o denominador dessa fração corresponde à massa total do sistema de partículas (que aqui designaremos por *M*). Sendo assim, a última expressão pode ser escrita da seguinte maneira:

$$M \cdot \vec{v}_{CM} = m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 + \ldots + m_n \cdot \vec{v}_n$$

Como podemos verificar, o primeiro membro dessa igualdade é a quantidade de movimento do centro de massa ($\vec{Q}_{CM} = M \cdot \vec{v}_{CM}$) e o segundo membro é a quantidade de movimento total do sistema ($\vec{Q}_{\text{sistema}} = m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 + \ldots + m_n \cdot \vec{v}_n$). Assim, concluímos:

$$\vec{Q}_{CM} = \vec{Q}_{\text{sistema}}$$

Ou seja:

> A quantidade de movimento linear total de um sistema de corpos é a quantidade de movimento linear do centro de massa desse sistema.

Exercícios

11. a) A canoa também se movimenta.
b) O centro de massa do sistema permanece fixo.

12. b) A v_{CM} permanece constante, pois o sistema é isolado.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

11. Uma pessoa está em uma das extremidades de uma canoa que se encontra parada em relação à margem de um rio, conforme mostra a figura (sem escala e em cores fantasia).



Paulo Manzi/Arquivo da editora

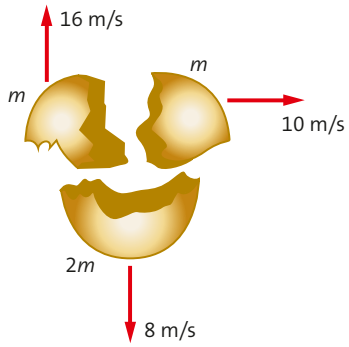
Se a pessoa caminhar para a extremidade oposta da canoa, afastando-se da margem:

a) a canoa se move ou permanece parada?
b) o centro de massa do sistema (canoa + pessoa) se move ou permanece parado?

12. Um patinador de 70 kg de massa encontra-se parado no meio de uma pista de gelo, segurando em uma das mãos uma bola de 700 g de massa. Despreze todas as formas de atrito.

a) É possível o patinador entrar em movimento? Justifique. Sim. Veja justificativa no Manual do Professor.
b) Se o patinador atirar a bola para a frente com velocidade de 10 m/s em relação ao solo, o que acontece com o centro de massa do sistema (patinador + bola): movimenta-se ou permanece parado?
c) De acordo com o item **b**, qual é a velocidade do patinador, em relação ao solo, após a bola ter sido atirada? $v_{CM} = 0{,}1$ m/s.

13. A figura a seguir (sem escala e em cores fantasia) mostra a fragmentação de um projétil em três pedaços.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Qual é a velocidade do centro de massa do projétil antes e após a fragmentação na horizontal? E na vertical?
$v_{CM\ (horiz.)} = 2{,}5$ m/s; $v_{CM\ (vert.)} = 0$.

14. (UFPR) Dois barcos estão navegando alinhados numa mesma trajetória retilínea e ambos no mesmo sentido. O barco que está à frente possui uma massa de 2 500 kg e move-se a uma velocidade constante de módulo 60 km/h; o que está atrás possui uma massa de 3 200 kg e move-se a uma velocidade constante de módulo 50 km/h. Num dado instante, os barcos estão separados por 200 m. Para esse instante, determine:

a) A posição do centro de massa do sistema formado pelos dois barcos, medida em relação ao barco de trás. $x_{CM} = 87{,}7$ m
b) O módulo da velocidade do centro de massa do sistema, utilizando as informações do enunciado. $v_{CM} = 54{,}4$ km/h
c) A quantidade de movimento do sistema a partir da massa total e da velocidade do centro de massa. $Q_{sist.} = 8{,}6 \cdot 10^4$ kg · m/s

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

5 Colisões

As colisões ou choques, principalmente entre veículos motorizados, fazem parte da vida moderna. As estatísticas mostram que, nas grandes cidades, dificilmente temos um dia em que não acontecem acidentes entre veículos. Os choques também podem ser verificados quando nos divertimos jogando bilhar, bolinha de gude, boliche (figura 8.15), etc.



Andresr/Shutterstock

Figura 8.15 Os jogos de boliche são exemplos práticos de como as colisões estão presentes no cotidiano das pessoas.

Física explica

Aceleradores de partículas

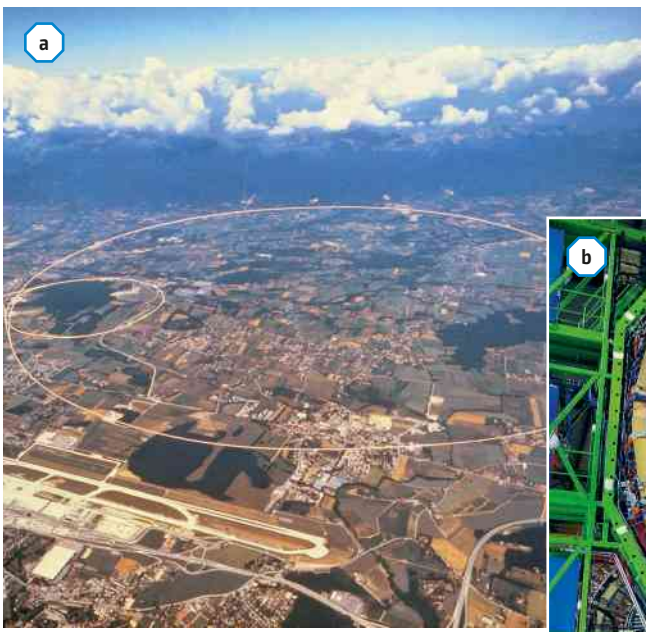
[...] Hoje em dia, muitos físicos passam o seu tempo jogando o que podemos denominar "jogos de colisões". O principal objetivo desse jogo é descobrir, tanto quanto possível, as forças que atuam durante a colisão, conhecendo o estado das partículas antes e após colidirem. Virtualmente, todo o nosso conhecimento acerca do mundo subatômico – elétrons, prótons, nêutrons, ***quarks*** e outras partículas – decorre de experiências desse tipo. As regras de um jogo de colisão são as Leis da Conservação do Momento Linear (quantidade de movimento) e da Energia. As figuras mostram um dos "campos de jogos" onde esse tipo de jogo tem sido praticado com grande sucesso. Ele é o detector do grande acelerador circular de prótons do CERN, Laboratório Europeu de Física de Altas Energias, próximo a Genebra.

Quarks – Nome genérico dado a alguns tipos de partículas elementares constituintes de prótons e nêutrons.

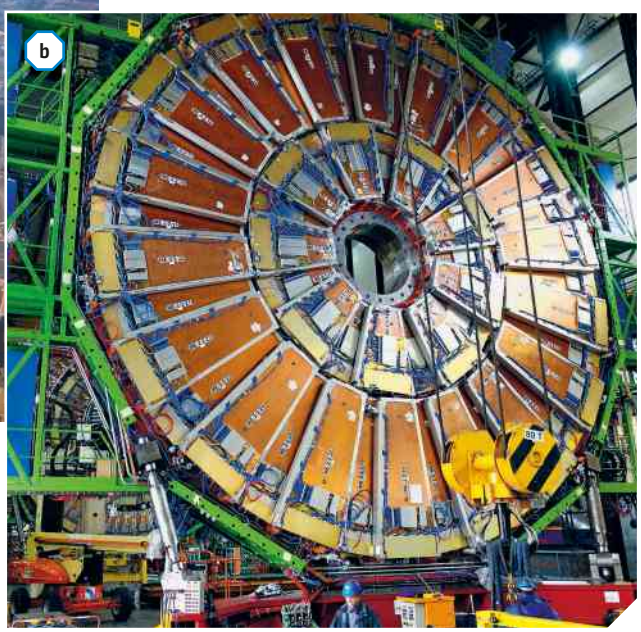
HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. *Fundamentos da Física*: Mecânica. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos, 1994.

Em 2008, o Cern inaugurou o maior acelerador de partículas do mundo, o LHC (Grande Colisor de Hádrons). Um dos objetivos era a descoberta de uma nova partícula, o "bóson de Higgs", rotulada como a "partícula Deus", cuja existência foi confirmada em 2012.

CERN/SPL/Latinstock



As imagens desta página não estão representadas em proporção.



Vincent Moncorge/Look at Sciences/Science Photo Library/Latinstock

Vista aérea da região onde foi construído o Cern (**a**). Ímã gigante localizado no interior do Cern a 100 metros de profundidade (**b**).

Trabalho em equipe

Em equipe e sob orientação de seu professor, façam um levantamento, em revistas e jornais, sobre as pesquisas realizadas com os aceleradores de partículas e suas implicações em nossa sociedade. Apresentem seus resultados em um painel na sala de aula.

De modo geral, durante as colisões, os corpos que interagem trocam forças muito intensas. No nível do nosso cotidiano, observamos que essas forças provocam tanto deformações elásticas como deformações permanentes. Já no nível atômico observa-se que, no choque entre duas partículas, pode formar-se uma nova partícula; ou, no choque entre uma partícula e um átomo, pode ocorrer a quebra do átomo, que dá origem a dois átomos menores.

Essas forças, denominadas **forças impulsivas**, são internas em relação ao sistema constituído pelos corpos que se chocam. Elas agem aos pares – ação e reação – e, em relação ao sistema, o somatório vetorial das forças internas é igual a zero.

Quanto às forças externas, mesmo quando existem e agem no sistema durante um choque, os impulsos produzidos por elas no sistema são desprezíveis, pois o tempo de duração de uma colisão é extremamente pequeno.

Em virtude dessas duas condições, podemos considerar um choque um sistema isolado de forças externas. Isso significa que:

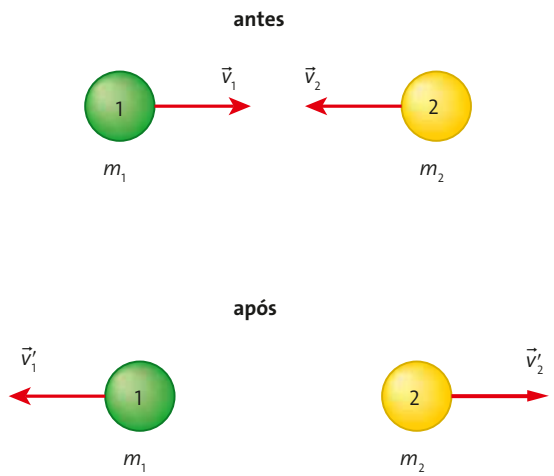
> Nos choques, a quantidade de movimento linear total do sistema se conserva.

Quando dois corpos se chocam, como mostrado na figura 8.16, pode ocorrer variação na quantidade de movimento linear de cada um deles, mas a quantidade de movimento linear total do sistema é a mesma antes e após o choque.

Para a comprovação numérica da conservação da quantidade de movimento linear, precisamos adotar um referencial para as velocidades. Com base no choque mostrado na figura 8.16, adotando-se o referencial positivo para a direita, a conservação da quantidade de movimento linear total do sistema pode ser escrita como:

$$\vec{Q}_{\text{antes}_{\text{sist.}}} = \vec{Q}_{\text{após}_{\text{sist.}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2 = m_2 \cdot \vec{v}'_2 - m_1 \cdot \vec{v}'_1$$



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 8.16 $\vec{Q}_{\text{antes}_{\text{sist.}}} = \vec{Q}_{\text{após}_{\text{sist.}}}$

Classificação dos choques

Os choques podem ser **elásticos** ou **inelásticos**. Essa classificação leva em conta a conservação da energia cinética total do sistema constituído pelos corpos, como mostramos a seguir.

- Se a energia cinética total do sistema após o choque for igual à energia cinética total do sistema antes do choque, este é **elástico**. Isso significa dizer que há conservação da energia cinética total do sistema.
- Se a energia cinética total do sistema após o choque for menor que a energia total do sistema antes do choque, este é **inelástico**. Nesse caso, não há conservação da energia cinética total do sistema.

Na prática, a maioria dos choques é inelástica, pois o sistema apresenta perda de energia cinética. No caso particular em que os corpos se unem no choque, ele é denominado **totalmente** (completamente) **inelástico**.

Choque oblíquo

No caso de um choque oblíquo entre dois corpos, continua válida a conservação da quantidade de movimento linear do sistema constituído pelos dois corpos.

Nesse caso, os movimentos dos corpos, antes e após o choque, ocorrem em direções variadas. Isso indica que o melhor caminho para a análise da situação é estabelecer dois eixos ortogonais de referência, decompor as velocidades dos corpos segundo esses eixos, antes e após a colisão, e, em seguida, aplicar o princípio da conservação da quantidade de movimento linear, separadamente, na direção de cada um desses eixos.

A **figura 8.17** ilustra um choque oblíquo entre duas esferas (bolas de bilhar, por exemplo) de massas m iguais. Antes do choque, a velocidade da esfera 1 é v_1 e a esfera 2 está parada. Após o choque, a velocidade da esfera 1 é v'_1 e a velocidade da esfera 2 é v'_2.

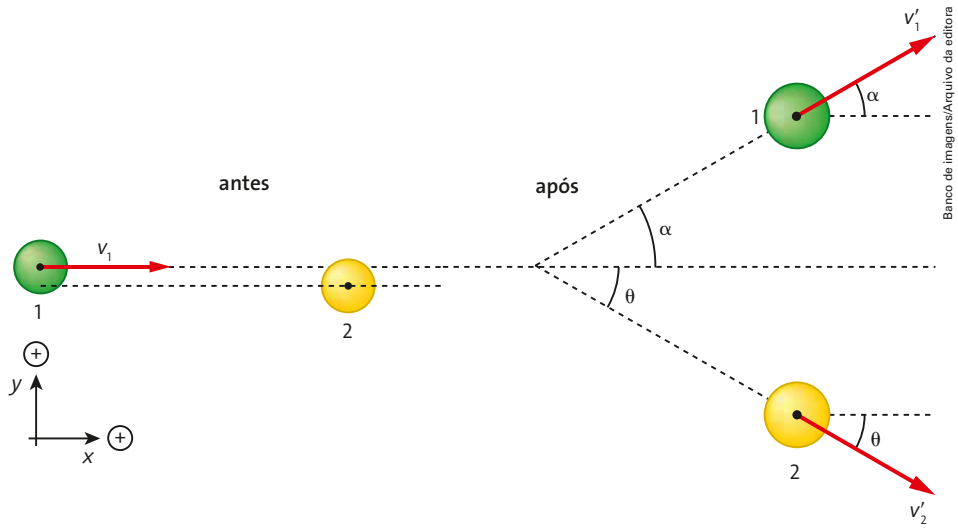


Figura 8.17 Representação (sem escala e em cores fantasia) do choque oblíquo entre duas bolas de bilhar.

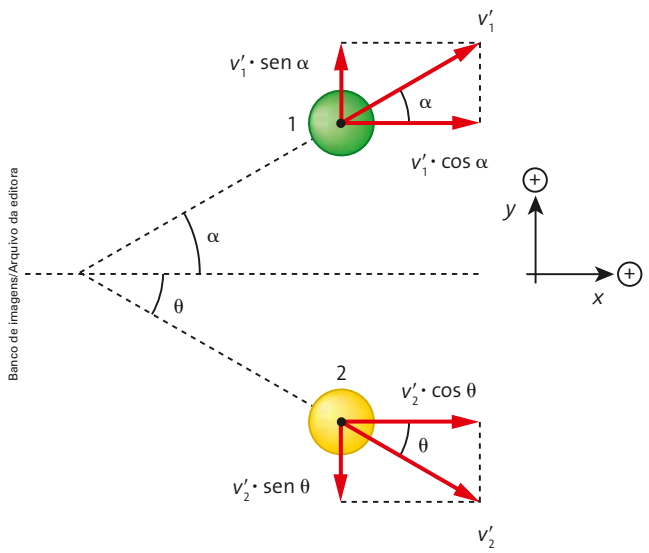


Figura 8.18 Representação cartesiana da decomposição das velocidades das esferas 1 e 2 nas direções x e y.

A **figura 8.18** ilustra a decomposição nas direções x e y das velocidades v'_1 e v'_2 após o choque.

Na direção x, o princípio da conservação da quantidade de movimento linear do sistema ($\vec{Q}_{\text{antes}_{\text{sist.}}} = \vec{Q}_{\text{após}_{\text{sist.}}}$) nos permite escrever:

$$m \cdot v_1 = m \cdot v'_1 \cdot \cos \alpha + m \cdot v'_2 \cdot \cos \theta \Rightarrow$$
$$\Rightarrow v_1 = v'_1 \cdot \cos \alpha + v'_2 \cdot \cos \theta$$

Na direção y, a conservação da quantidade de movimento linear do sistema ($\vec{Q}_{\text{antes}_{\text{sist.}}} = \vec{Q}_{\text{após}_{\text{sist.}}}$) nos fornece:

$$0 = m \cdot v'_1 \cdot \text{sen}\ \alpha - m \cdot v'_2 \cdot \text{sen}\ \theta \Rightarrow$$
$$\Rightarrow v'_1 \cdot \text{sen}\ \alpha = v'_2 \cdot \text{sen}\ \theta$$

Observação: Na situação acima, em que as esferas possuem massas iguais, se a colisão for elástica, os ângulos α e θ serão complementares, ou seja, a soma dos dois será 90°.

Física explica

Veja comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

Amortecendo as colisões

Os corpos com os quais temos contato, no dia a dia, são deformáveis; alguns mais, outros menos, mas todos são deformáveis.

Vamos considerar um exemplo. Suponha a colisão de um automóvel com um obstáculo fixo. Se houvesse um carro totalmente indeformável, a força trocada durante a colisão seria muito intensa. Por essa simples razão, materiais rígidos, como o vidro, se quebram mesmo em pequenas quedas, enquanto um pedaço de pão que cai no chão permanece inteiro. No corpo humano, esse tipo de amortecimento também ocorre: quando sofremos uma queda, articulações são flexionadas e partes moles sofrem deformações momentâneas, amortecendo o choque.

Os primeiros automóveis eram feitos com materiais muito resistentes. Em pequenas colisões, os carros praticamente não sofriam danos, mas os impactos muitas vezes eram letais para os passageiros.

Essas considerações levaram a indústria automobilística a produzir carros mais deformáveis, o que inclui o uso de chapas mais finas na carroceria, dotadas de dobras que também atuam como amortecedores de impactos, e para-choques mais flexíveis. Desse modo, numa colisão, os danos nesses carros são maiores, mas a preservação dos passageiros é valorizada.

- Quais são os objetivos da indústria automobilística ao produzir carros mais deformáveis, com carrocerias mais finas e para-choques mais flexíveis?

Exercícios

16. a) Lei da conservação da quantidade de movimento linear.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

15. Devido a uma intensa neblina na estrada, uma caminhonete de 2 200 kg e velocidade de 40 km/h choca-se com a traseira de um automóvel de 1 200 kg e velocidade de 20 km/h.



Celso Junior/Agência Estado

Se com o choque a velocidade da caminhonete é reduzida para 30 km/h, qual é a velocidade do automóvel após o choque? $v'_c = 38{,}3$ km/h

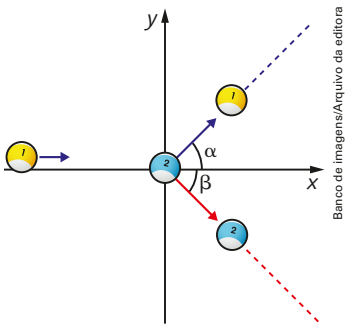
16. Um vagão de trem encontra-se em repouso sobre os trilhos. Um segundo vagão, de mesma massa que o primeiro, movimentando-se com velocidade v, colide com o primeiro e os dois permanecem engatados após o choque.

a) Qual lei da Física você aplicaria para calcular a velocidade do conjunto após a colisão?

b) Determine a velocidade do conjunto após o choque.

$v_{conj.} = \frac{v}{2}$

17. A figura seguinte ilustra o esquema feito por um aluno para explicar um choque oblíquo entre duas bolas de bilhar de mesma massa.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Antes do choque, a bola 1 estava em movimento com velocidade de 10 m/s e a bola 2 estava parada. Após o choque, a bola 1 desvia para a esquerda e sua direção forma um ângulo $\alpha = 30°$ com a direção horizontal (eixo x). Por outro lado, a bola 2 entra em movimento para a direita com velocidade de 5 m/s e sua direção forma um ângulo $\beta = 60°$ com o eixo horizontal.

Dados: sen 30° = cos 60° = 0,50 e cos 30° = sen 60° = = 0,87.

a) Com base na conservação do momento linear do sistema constituído pelas duas bolas, determine a velocidade da bola 1 após o choque. $v'_1 = 8{,}6$ m/s

b) O choque entre as bolas é elástico ou inelástico? Justifique. Elástico. As massas são iguais e os ângulos α e β são complementares ($\alpha + \beta = 90°$).

En pointe – Parte do balé clássico em que a bailarina dança na ponta dos dedos dos pés usando sapatilhas especialmente reforçadas para essa finalidade.



Paolo Bona/Shutterstock



Paolo Bona/Shutterstock

Figura 8.19 Ao deslizar sobre o gelo, a patinadora executa movimento de translação (**a**) e, ao girar em torno de um eixo fixo que passa pelo seu corpo, seu movimento é de rotação (**b**). Atleta Ando Miki, nos Jogos Olímpicos de Turim, Itália, em 2006.

6 Inércia rotacional

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

Leia o texto a seguir.

"Sob uma tênue luz azulada, a bailarina desliza pelo palco e parece voar, seus pés roçando na Terra imperceptivelmente. [...] Enquanto ela dança, a natureza vai desempenhando o seu papel de modo impecável, com absoluta confiabilidade. Na ***pointe***, o peso da bailarina é precisamente compensado pela força do chão contra a sapatilha: as moléculas em contato são comprimidas exatamente na medida necessária para contrabalançar uma força com igual força contrária. Gravidade equilibrada com eletricidade.

Uma linha invisível parte do centro da Terra, passa pelo ponto de contato da bailarina com o chão e continua avançando para cima. Se o centro da bailarina se desviar um centímetro que seja dessa linha, conjugados gravitacionais irão derrubá-la. Ela nada sabe sobre mecânica, mas é capaz de permanecer sobre os dedos do pé por vários minutos, seu corpo efetuando continuamente minúsculas correções que revelam uma intimidade com os conjugados e a inércia."

LIGHTMAN, Alan. *Viagens no tempo e o cachimbo do vovô Joe*. São Paulo: Companhia das Letras, 1998. p. 13-14. Tradução: Carlos Afonso Malferrari.

No texto, o autor nos conduz a uma reflexão sobre os movimentos de uma bailarina e as leis da Física. Nos termos de Alan Lightman (1948-), seus movimentos "revelam uma intimidade com os conjugados e a inércia" e também com o momento angular e sua conservação, assuntos que trataremos neste tópico e no próximo.

Os patinadores que se exibem em pistas de gelo, além de apresentarem belos espetáculos, nos fornecem bons exemplos para ilustrar os movimentos de translação e de rotação. Na figura 8.19.a, vemos uma patinadora deslizando sobre o gelo: seu movimento é de **translação**. Na figura 8.19.b, vemos a patinadora girando em torno de um eixo fixo que passa pelo seu corpo: seu movimento é de **rotação**.

Quando estudamos o movimento de translação de um corpo rígido, observamos que, para dado intervalo de tempo, todos os pontos do corpo apresentam o mesmo deslocamento escalar, ou seja, todos os pontos deslocam-se com a mesma velocidade escalar. Esse fato nos permite analisar o movimento do corpo considerando o movimento de um único ponto: o centro de massa do corpo (figura 8.20). Nesse caso, a massa, denominada massa inercial, nos fornece a medida da dificuldade de alterar o estado de movimento de translação do corpo. A alteração do estado de movimento de translação de um corpo é feita por meio de uma força.



Mark Atkins/Shutterstock/Glow Images

Figura 8.20 O movimento de translação do caminhão pode ser representado pelo movimento do seu centro de massa.

E no caso de um corpo rígido em rotação? Tomemos como exemplo o movimento rotacional das pás de um ventilador.

Quando está em funcionamento, cada ponto das pás (corpo rígido) descreve um movimento circular em torno do eixo de rotação (ponto *O*). Na **figura 8.21**, observe os dois pontos, *A* e *B*, marcados em uma das pás do ventilador. Embora situados a distâncias diferentes do eixo de rotação, eles efetuam o mesmo número de voltas em um dado intervalo de tempo, isto é, a frequência de rotação é a mesma para os dois pontos. Em termos de deslocamento, dizemos que, para dado intervalo de tempo, eles apresentam o mesmo deslocamento angular, ou seja, eles possuem a mesma velocidade angular. Por esse motivo, as grandezas angulares são mais adequadas para o estudo dos corpos em movimentos de rotação.



HSNphotography/Shutterstock/Glow Images

Figura 8.21 Em um ventilador os pontos assinalados *A* e *B* descrevem um movimento circular em torno do eixo de rotação indicado como sendo o ponto *O*.

No Capítulo 5, ao estudar a primeira lei de Newton, apresentamos o conceito de inércia: a propriedade da matéria de manter seu estado de repouso ou de movimento, ou seja, corpos em repouso tendem a permanecer em repouso, e corpos em movimento tendem a continuar em movimento.

Naquele momento, tratávamos dos corpos em movimento de translação. O que dizer, então, de um corpo em rotação, como uma roda que gira (**figura 8.22**) em torno de um eixo?


SeanPavonePhoto/Shutterstock/Glow Images

Figura 8.22 Roda-gigante iluminada girando à noite é um bonito exemplo de movimento de rotação.

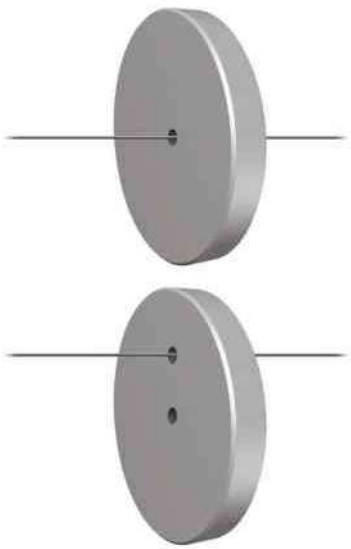
As imagens desta página estão representadas fora de escala.

A lei da inércia também se aplica aos corpos em rotação. Assim, a tendência de um corpo que roda em torno de um eixo é continuar em rotação, a menos que ele sofra a interferência de um agente externo que mude essa situação. Essa propriedade que os corpos em rotação apresentam é denominada **inércia rotacional** ou **momento de inércia** (*I*).



Juan Vte. Mu–oz/Shutterstock/Glow Images

Figura 8.23 Um pião poderia girar por um tempo indeterminado se forças externas (como o atrito) não atuassem sobre ele.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 8.24 A escolha do eixo de rotação influi na inércia rotacional.

Assim, em razão da inércia rotacional, corpos em rotação tendem a continuar em rotação (**figura 8.23**), e corpos em repouso tendem a continuar em repouso.

Em ambos os casos (translação e rotação), a inércia está relacionada à massa do corpo. No caso dos corpos em rotação, a inércia rotacional depende da distribuição da massa em relação ao eixo de rotação. Por exemplo, é mais fácil colocar uma roda em movimento quando o eixo de rotação passa por seu centro do que quando o eixo passa por qualquer outro ponto (**figura 8.24**).

Nas duas situações mostradas na **figura 8.24**, a massa da roda é a mesma, mas a distribuição dessa massa em relação ao eixo de rotação é diferente; por isso, as duas rodas possuem diferentes inércias rotacionais (momento de inércia).

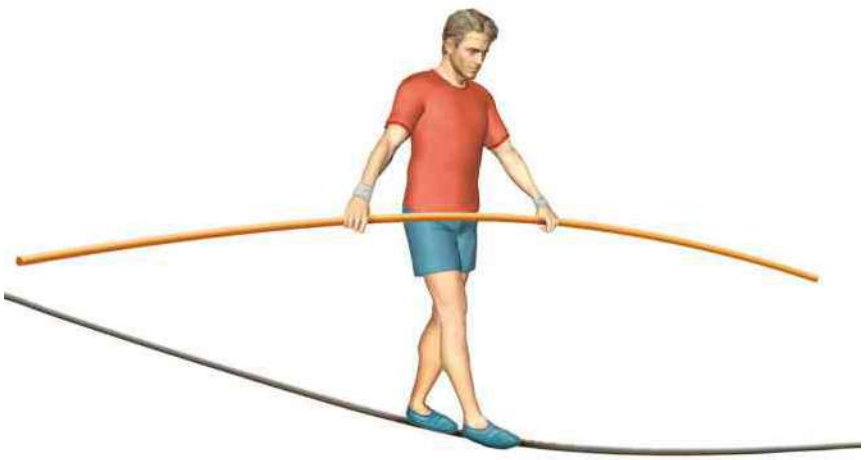
Em qual das duas situações mostradas a inércia rotacional é menor?

A experiência nos mostra que uma roda gira com mais facilidade quando o eixo de rotação passa por seu centro de massa. Expressamos esse fato dizendo que, nessa situação, a roda tem uma inércia rotacional menor. Sendo assim, o menor valor da inércia rotacional de um corpo se verifica quando o eixo de rotação passa pelo centro de massa do corpo – e, quanto menor a inércia rotacional, mais fácil se torna colocar o corpo em movimento rotacional.

Em muitas situações práticas, é desejável que a inércia rotacional seja a menor possível, enquanto em outras, busca-se o contrário. No caso de um equilibrista andando sobre uma corda acima do solo, por exemplo, um momento de inércia maior ajuda a pessoa a manter o equilíbrio.

Para conseguir uma inércia rotacional maior, o equilibrista carrega uma vara nas mãos (**figura 8.25**). Quanto maior a vara, maior o momento de inércia do sistema e, nessas condições, torna-se mais difícil alterar o estado de movimento rotacional desse mesmo sistema. Se o equilibrista não dispuser de uma vara, ele pode andar sobre a corda com os braços abertos ao máximo; com isso, ele consegue aumentar a inércia rotacional do seu corpo.

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.



Soud/Arquivo da editora

Figura 8.25 A longa vara que o equilibrista carrega ao andar sobre a corda bamba visa aumentar seu momento de inércia.

Torque

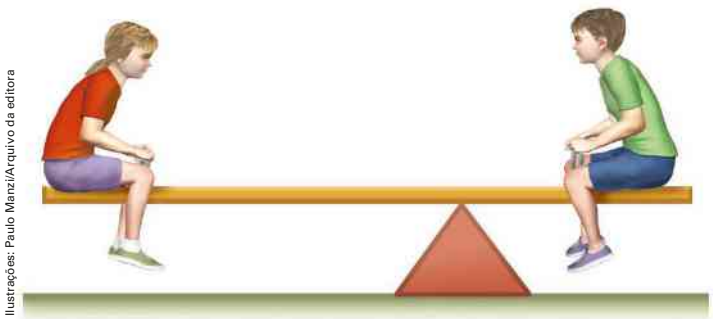
A alteração do estado de movimento de translação de um corpo ocorre mediante a ação de uma força. E para alterar o estado de movimento de rotação de um corpo? Nesse caso, é necessário um **torque**.

Para entender o significado físico do torque, que também é conhecido como **momento de uma força**, vamos considerar um exemplo, ilustrado na figura 8.26.

Suponha que uma pessoa necessite trocar um pneu de carro. De posse de uma chave de roda, ela tenta soltar uma das porcas, sem conseguir. Entretanto, ao utilizar um tubo para prolongar a haste da chave de roda, ela consegue o seu objetivo.

Vejamos um segundo exemplo. Se duas crianças, uma de 20 kg e outra de 40 kg, resolvem se equilibrar em uma gangorra, como elas devem proceder?

Se cada uma delas sentar em uma extremidade da gangorra, o ponto de apoio deve ser deslocado para mais próximo da criança de maior peso, conforme ilustrado na figura 8.27.



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 8.27 O ponto de apoio da gangorra deve estar mais próximo da criança de maior massa.

Esse ajuste, porém, quase nunca é possível, pois o ponto de apoio normalmente é fixo, no meio da gangorra. A solução é facilmente encontrada pelas crianças: a criança mais pesada senta-se mais próxima do apoio do que a criança mais leve (figura 8.28).

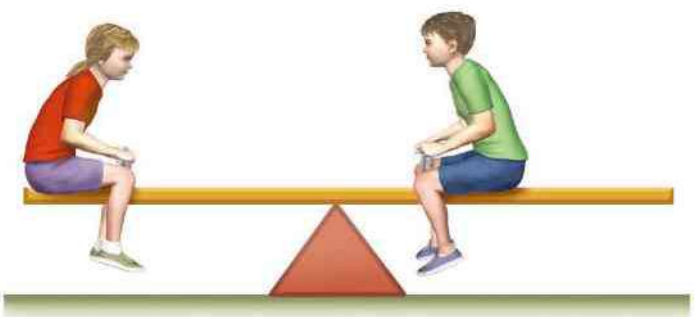


Figura 8.28 Para o equilíbrio da gangorra, a criança de maior massa deve estar mais próxima do ponto de apoio.

Essa solução evidencia um fato importante: quanto mais longe do eixo de rotação for aplicada a força, maior será a tendência à rotação. Desse modo, uma criança de menor peso consegue equilibrar na gangorra uma criança mais pesada. Esse mesmo raciocínio se aplica à chave de roda do exemplo anterior, em que o prolongamento da haste aumenta a tendência de rotação da porca. Dizemos então que há um aumento no torque, ou no momento da força, que a pessoa produz na porca.



Sérgio Dotta Jr./Acervo do fotógrafo



Sérgio Dotta Jr./Acervo do fotógrafo

Figura 8.26 Aumentando-se o comprimento da haste da chave, aumenta-se o torque na porca a ser desatarraxada.

As ilustrações desta página estão representadas fora de escala e em cores fantasia.

Veja resposta no Manual do Professor.

Para refletir

Lembra-se do experimento de João no Capítulo 1? Utilizando os conceitos vistos até aqui, procure explicar como funciona a lei das alavancas.

Com base nesses exemplos, podemos concluir que o torque produzido por uma força, em relação a um eixo de rotação, depende da intensidade da força e da distância da linha de ação da força ao eixo de rotação, como mostra a **figura 8.29**.

Observe na figura que a força peso da criança de 20 kg, colocada à esquerda do eixo de rotação, dá origem a um torque que tende a produzir a rotação da gangorra no sentido anti-horário, enquanto a força peso do menino de 40 kg, colocado à direita do eixo de rotação, origina outro torque, que tende a produzir a rotação da gangorra no sentido horário. Para expressar esse fato algebricamente, dizemos que um desses torques é positivo e o outro, negativo. Se em módulo esses torques forem iguais, o torque resultante será nulo. Nessas condições, a gangorra estará em equilíbrio rotacional.

O conceito de torque e o estudo de corpos em equilíbrio rotacional será tema do Capítulo 10, onde estudaremos as principais máquinas simples utilizadas pelas pessoas para facilitar a realização de suas tarefas.

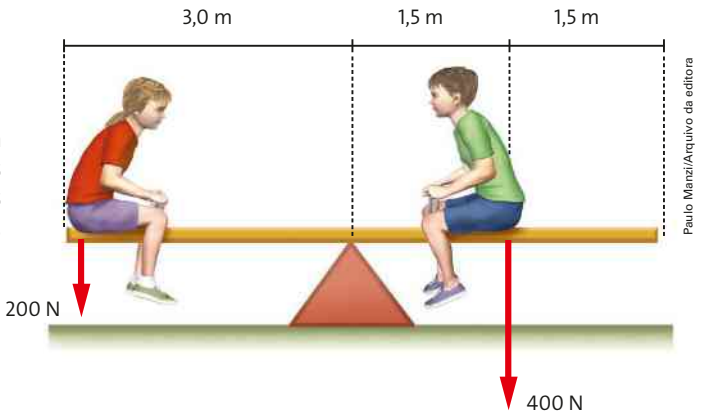


Figura 8.29 Representação (sem escala e em cores fantasia) de duas crianças brincando numa gangorra com as forças e as distâncias envolvidas.

Exercícios

18. Resposta para os itens **a** e **b**: A inércia rotacional é maior na segunda posição, pois nessa posição é mais fácil equilibrar o martelo.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

18. As figuras seguintes ilustram (sem escala) duas maneiras de se equilibrar um martelo. No primeiro caso, o martelo é colocado com a cabeça para baixo, e no segundo, com a cabeça para cima.

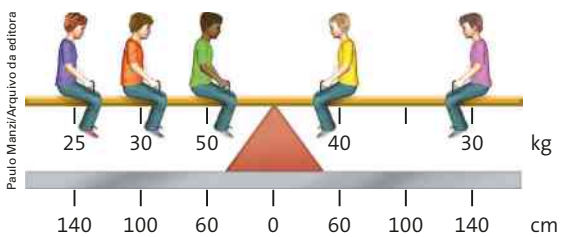


a) Em relação ao dedo da pessoa, em qual dos casos a inércia rotacional do martelo é maior? Justifique.
b) Em qual das duas posições é mais fácil equilibrar o martelo?

19. Explique por que, nas portas, a maçaneta normalmente é colocada o mais longe possível das dobradiças.

Veja resposta no Manual do Professor.

20. Cinco garotos resolvem brincar em uma gangorra e se distribuem sobre ela, conforme mostra a figura (sem escala e em cores fantasia).



a) Verifique se a gangorra encontra-se em equilíbrio na horizontal. Justifique. Não está em equilíbrio.
b) Mudando-se a posição do garoto de 40 kg para a direita, é possível equilibrar a gangorra na horizontal? Em caso positivo, calcule essa posição; em caso negativo, justifique. As posições dos outros garotos não se alteram.

Sim; a 132,5 cm à direita do apoio.

7 Momento angular e sua conservação

Do mesmo modo que um corpo de massa *m*, que se desloca com velocidade $\vec{v}$, possui uma quantidade de movimento linear $\vec{Q}$, um corpo de momento de inércia *I* em movimento rotacional com velocidade angular ω possui uma **quantidade de movimento angular**, mais conhecida como **momento angular** $\vec{L}$, uma grandeza vetorial cujo **módulo** é dado por:

$$L = I \cdot \omega$$

A alteração do momento angular de um corpo em rotação ocorre mediante a aplicação de um torque produzido por forças externas ao corpo. No caso particular de um corpo isolado de forças externas, o torque total externo é zero e, nessas condições, não há variação no momento angular do corpo.

Podemos, então, enunciar a lei da conservação do momento angular, que traduz a primeira lei de Newton para os movimentos de rotação:

> Na ausência de torques externos, o momento angular de um sistema se conserva.

Levando em conta que o momento angular de um sistema se conserva, podemos concluir que, se houver mudança na inércia rotacional do sistema, haverá mudança também na velocidade angular de rotação dele, de tal maneira que o momento angular final se mantém igual ao momento angular inicial, ou seja:

$$L_f = L_i \Rightarrow I_f \cdot \omega_f = I_i \cdot \omega_i$$

A conservação do momento angular pode ser observada, por exemplo, durante um espetáculo de patinação: quando um patinador gira sem sair do lugar, sua velocidade angular aumenta quando ele aproxima os braços do corpo. Isso acontece porque, ao aproximar os braços do corpo, ele diminui seu momento de inércia em relação ao eixo de rotação (figura 8.30).



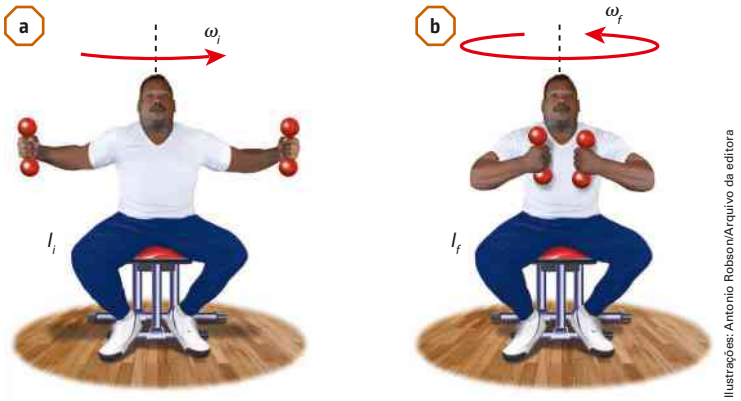
Fotos: Diego Barbieri/Shutterstock

Figura 8.30 Numa apresentação de patinação no gelo, é perceptível o aumento da velocidade de rotação no giro quando o atleta encolhe os braços junto ao corpo. Atleta Michael Brezina, em campeonato de patinação em Turim, Itália, 2010.

Como o patinador é um sistema isolado de forças externas, o torque total externo é nulo e, nesse caso, o momento angular se conserva. Se a aproximação dos braços ao corpo reduzir o momento de inércia à metade, a velocidade angular do patinador dobrará.

Exercícios

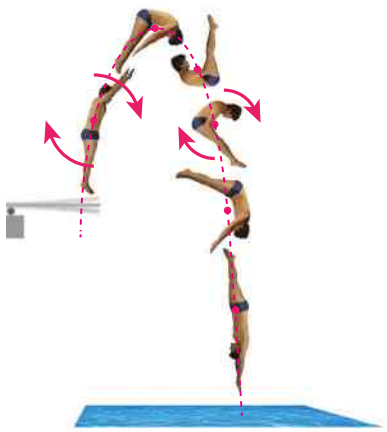
21. Nas figuras a seguir, vemos um homem sentado em um banquinho que pode girar em torno de um eixo vertical. Na posição indicada na figura **a**, o homem, que segura um par de halteres em suas mãos, está com os braços abertos, e na figura **b**, ele aproxima os halteres do seu corpo.



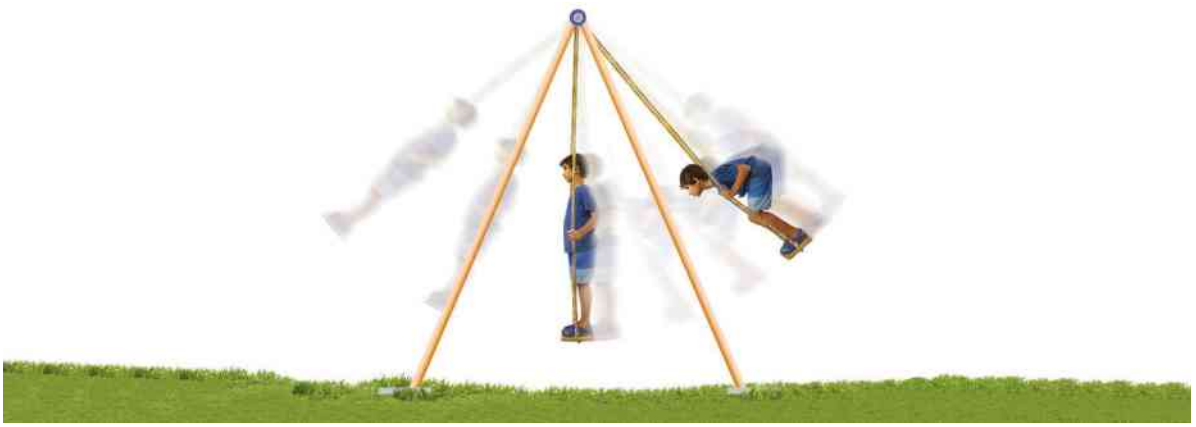
Ilustrações: Antonio Robson/Arquivo da editora

a) Em qual das duas posições, **a** ou **b**, o momento de inércia do homem, em relação ao eixo vertical, é maior? Posição **a**.
b) Em qual delas a velocidade angular do homem é maior? Posição **b**.

22. A figura ao lado ilustra (sem escala e em cores fantasia) um atleta executando um salto ornamental.
Como você explica o fato de o atleta conseguir girar, completando uma volta e meia, antes de atingir a água?
Veja resposta no Manual do Professor.



23. As crianças aprendem na prática que, para se conseguir bons resultados num balanço, devem se manter agachadas quando o balanço atinge seu ponto mais alto e ficar em pé quando o balanço passa pela posição mais baixa, conforme mostra a figura (sem escala e em cores fantasia).
Com base na lei da conservação do momento angular, como você explica tal fato? Veja resposta no Manual do Professor.



Em construção

Veja comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

Descartes e Leibniz e as leis da conservação

No estudo da Física, nos deparamos com várias leis de conservação. Além da conservação da quantidade de movimento e do momento angular, vistas neste capítulo, temos a lei da conservação de energia (que estudamos no Capítulo 7), a lei da conservação da carga elétrica – que será analisada num momento posterior – e a lei de conservação de massa.

Em particular, sobre as leis da conservação da quantidade de movimento e da energia, vamos destacar dois cientistas que contribuíram para os seus estabelecimentos.



Frans Hals/Museu do Louvre, Paris, França

Retrato de René Descartes.

René Descartes, filósofo, matemático e físico francês, também conhecido como Cartesius, nasceu em 1596 na cidade de La Haye, que em 1802 passou a se chamar La Haye-Descartes, e faleceu em 1650 em Estocolmo, na Suécia.

Em 1618, após bacharelar-se em Direito Canônico e Civil, Descartes foi para a Holanda e se alistou no exército de Maurício de Nassau (1567-1625), conhecido como centro de estudos de engenharia militar. Esse contato com a formação militar foi para ele um complemento à sua educação.

Em 1644, com a publicação de *Princípios filosóficos*, Descartes apresentou seus estudos sobre os efeitos de uma força em um corpo, denominando-os como a **quantidade de movimento** do corpo, além de discutir as bases que posteriormente constituiriam a primeira lei de Newton (lei da inércia). Em sua teoria sobre as origens do Universo, Descartes afirmava que Deus criou a quantidade de movimento inicial do Universo que permanece sempre conservada, gerando as leis da natureza.



The Bridgeman Art Library/Keystone/ Museu Estatal da Baixa Saxônia, Hanover, Alemanha

Retrato de Gottfried Wilhelm von Leibniz.

Gottfried Wilhelm von Leibniz, filósofo, político, historiador, cientista e matemático alemão, nasceu em 1º de julho de 1646 em Leipzig e faleceu em 14 de novembro de 1716, em Hanover, Alemanha.

Com 20 anos, Leibniz obteve o grau de Doutor em Direito e, em 1672, foi para Paris, onde estudou Matemática e Física com Christiaan Huygens (1629-1695), a quem são atribuídas as primeiras relações com o que conhecemos como energia.

Na área da Matemática, Leibniz deu uma importante contribuição com o desenvolvimento do cálculo diferencial e integral, e na Física – muitas vezes em desacordo com Descartes e Isaac Newton – defendia a conservação de uma grandeza denominada "força", que representava a soma de duas parcelas, a força-viva (energia cinética) e a força-morta (energia potencial). A expressão mv^2 foi denominada por Leibniz como *força-viva*. Posteriormente, William Thonsom, Lorde Kelvin, (1824-1907) mudou-lhe o nome para energia.

- Faça uma pesquisa na internet sobre a vida e a obra de René Descartes e Gottfried Wilhelm von Leibniz, com destaque para as controvérsias entre eles comentadas no **Física tem História** do início deste capítulo. Além da internet, você poderá utilizar as seguintes referências:

  1. *Origens e evolução das ideias da física*. José Fernando M. Rocha (Org.). Salvador: EDUFBA, 2002. p. 87-100.

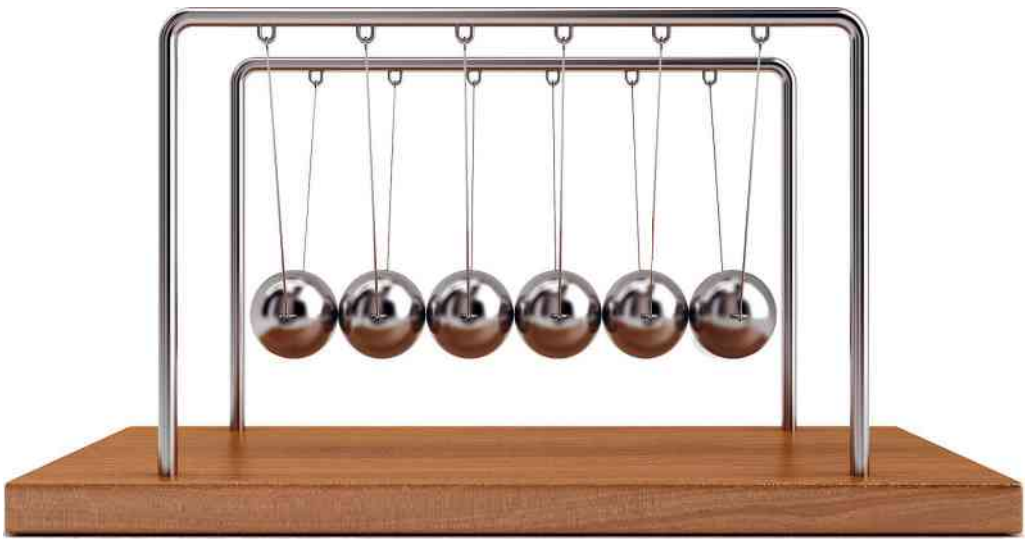
  2. *História ilustrada da Ciência. III: Da Renascença à Revolução Científica. Capítulo 8: Os séculos XVII e XVIII*. Colin A. Ronan. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1983. p. 73-105.

Experimento

Veja comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

Colisão unidimensional de esferas

A conservação da quantidade de movimento linear em colisões pode ser verificada em um experimento simples envolvendo esferas de aço. Para isso, podemos utilizar um brinquedo decorativo que apresenta esferas suspensas por fios, conforme mostra a figura **a**.



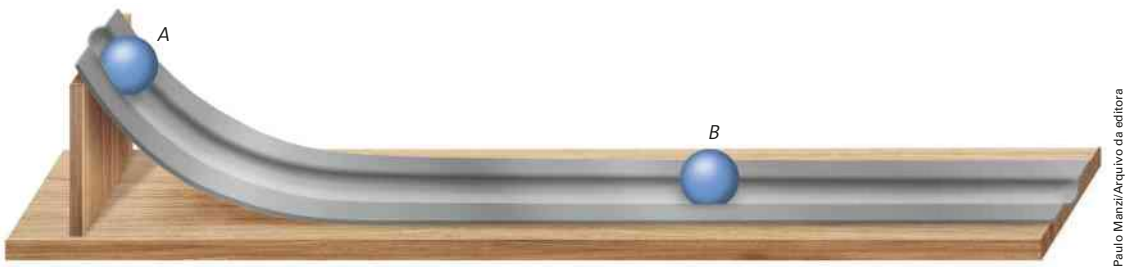
Ali Ender Birer/Shutterstock/Glow Images

Figura **a**: pêndulo de Newton.

Como sugestão, veja o exercício 24 da página seguinte.

Realize o maior número possível de choques entre as esferas e observe o que acontece. Discuta com seus colegas a conservação da quantidade de movimento linear em cada um deles.

Outra possibilidade consiste em utilizar uma calha de alumínio presa em um suporte de madeira, conforme mostra a figura.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura **b**: representação (sem escala e em cores fantasia) do experimento.

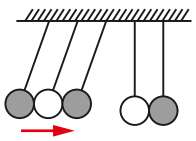
Solte uma esfera de um ponto da rampa (ponto *A*) e observe o choque entre ela e outra esfera parada no trecho horizontal da calha (ponto *B*). Utilize esferas de mesma massa e esferas de massas diferentes.

E se colocarmos duas esferas juntas, em repouso, no ponto *B*? Podemos, também, soltar duas esferas juntas do ponto *A* para se chocarem com duas esferas paradas no ponto *B*. Variando o número de esferas nos pontos *A* e *B*, observe o que acontece no choque entre elas.

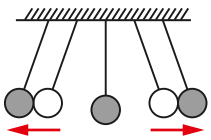
1. Houve conservação da quantidade de movimento linear das esferas em cada colisão?
2. Houve conservação da quantidade de movimento linear do sistema constituído pelas esferas em cada colisão?

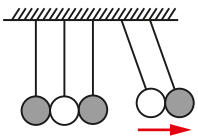
Retomando

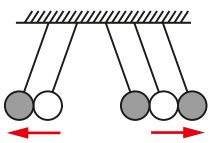
24. (Enem) O pêndulo de Newton pode ser constituído por cinco pêndulos idênticos suspensos em um mesmo suporte. Em um dado instante, as esferas de três pêndulos são deslocadas para a esquerda e liberadas, deslocando-se para a direita e colidindo elasticamente com as outras duas esferas, que inicialmente estavam paradas.

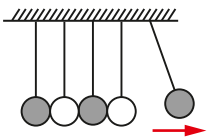


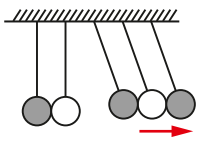
O movimento dos pêndulos, após a primeira colisão, está representado em:

a)


d)


b)


e)


X c)


25. Um foguete no espaço sideral livre de gravidade possui a mesma força de propulsão em qualquer instante de tempo. O que podemos dizer da aceleração do foguete: é constante, aumenta ou diminui? Justifique sua resposta. Aceleração aumenta. Veja justificativa no Manual do Pofessor.

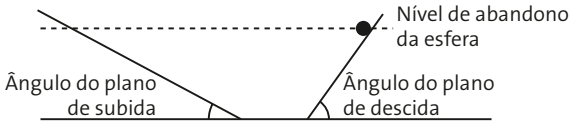
26. Após uma colisão completamente inelástica entre dois corpos, eles permanecem unidos. Com base nesse fato, responda: Veja resposta no Manual do Professor.

a) A energia cinética final do sistema pode ser zero? E a inicial?

b) A quantidade de movimento linear final do sistema pode ser zero? E a inicial?

Justifique suas respostas com exemplos.

27. (Enem) Para entender os movimentos dos corpos, Galileu discutiu o movimento de uma esfera de metal em dois planos inclinados sem atritos e com a possibilidade de se alterarem os ângulos de inclinação, conforme mostra a figura. Na descrição do experimento, quando a esfera de metal é abandonada para descer um plano inclinado de um determinado nível, ela sempre atinge, no plano ascendente, no máximo, um nível igual àquele em que foi abandonada.



Galileu e o plano inclinado. Disponível em: <www.física.ufpb.br>. Acesso em: 21 ago. 2012 (adaptado).

Se o ângulo de inclinação do plano de subida for reduzido a zero, a esfera

X a) manterá sua velocidade constante, pois o impulso resultante sobre ela será nulo.

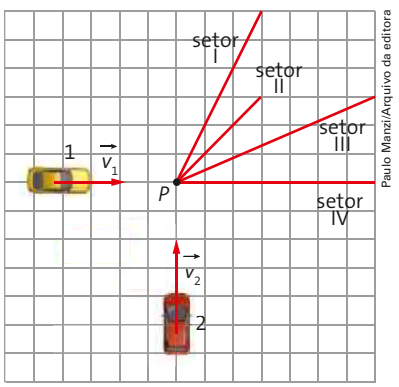
b) manterá sua velocidade constante, pois o impulso da descida continuará a empurrá-la.

c) diminuirá gradativamente a sua velocidade, pois não haverá mais impulso para empurrá-la.

d) diminuirá gradativamente a sua velocidade, pois o impulso resultante será contrário ao seu movimento.

e) aumentará gradativamente a sua velocidade, pois não haverá nenhum impulso contrário ao seu movimento.

28. Na figura seguinte (sem escala e em cores fantasia), temos dois veículos, 1 e 2, de massas iguais, que se movimentam em ruas perpendiculares entre si. Ao atingirem o ponto *P*, no cruzamento das ruas, acontece um choque totalmente inelástico entre eles. Setor II.



Sabe-se que, antes da colisão, a velocidade do carro 2 era ligeiramente maior do que a velocidade do carro 1. Nessas condições, em qual dos setores (I, II, III ou IV), existe maior probabilidade de os veículos deslizarem juntos após o choque?

CAPÍTULO 9

O Sistema Solar e a Terra

Professor, veja orientações e sugestões de encaminhamento dos assuntos deste capítulo no Manual do Professor.

NASA/SPL/Latinstock



Fotografia do Sol e da Terra, feita da Estação Espacial Internacional, em novembro de 2009.

Todos os dias, o Sol nasce a leste e se põe a oeste. De fato, é o Sol que anuncia um novo dia. Tão acostumados estamos com esse fato que raramente questionamos: afinal, é o Sol que gira em torno da Terra ou é a Terra que gira em torno do Sol?

1 Modelos planetários

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

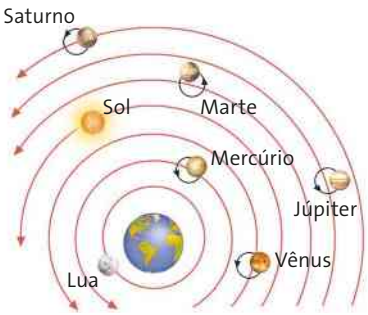
Imagine-se em uma cabine, a bordo de um navio que navega lentamente por águas bem calmas. Sem olhar pela escotilha, você não seria capaz de dizer se esse navio está em repouso ou em movimento em relação à Terra. Como perceber o movimento da embarcação, se você está se movendo junto com ela? Como perceber que a Terra está em movimento, se nos movimentamos junto com ela?

Física tem História

Veja comentários e respostas desta seção no Manual do Professor.

Tendo a Terra como referência, durante muito tempo prevaleceu o modelo planetário **geocêntrico** aperfeiçoado por Cláudio Ptolomeu (90-168).

Imaginava-se a Terra como o centro do Universo e que todos os outros astros giravam ao redor dela. Esse modelo durou enquanto ciência e religião não guardavam entre si uma distinção clara e ambas o apoiavam. Além de Ptolomeu, Aristóteles de Estagira (384 a.C.-322 a.C.) foi um dos principais defensores do geocentrismo.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Representação (sem escala e em cores fantasia) do modelo simplificado do sistema planetário de Ptolomeu.

Somente com o Renascimento (a partir do século XV), com bases mais racionais, se propôs o modelo **heliocêntrico** – o Sol como centro do sistema planetário. Antes disso, o grego Aristarco de Samos (310 a.C.-230 a.C.) chegou a levantá-lo na Antiguidade, baseado em cálculos que mostravam que o Sol era muito maior do que a Terra e, portanto, deveria ser o corpo central. Mas em sua época suas ideias não foram aceitas.

O astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473- 1543), em obra publicada pouco antes de morrer, defendia a ideia de que os movimentos dos corpos no céu deveriam ser explicados de modo simples. Para Copérnico, todos os planetas, incluindo a Terra, giravam em torno do Sol em órbitas circulares. Mas houve resistência: na mesma época, Martinho Lutero (1483-1546), teólogo alemão e pai da Reforma Protestante, teria afirmado que "admitir a Terra girando ao redor do Sol era como pensar que não é a carroça que vai para a frente, mas que os burros é que fazem o chão ir para trás".

Para refletir
Como você analisa a afirmação de Martinho Lutero?

Galileu Galilei, em sua obra *Diálogos sobre duas ciências*, mostrou que todo movimento é relativo e levantou a seguinte observação: para um espectador que se move com a Terra, não é possível perceber o movimento dela.

O problema não era simplesmente escolher qual corpo ficava imóvel no centro, mas sim explicar as trajetórias estranhas que alguns planetas descreviam. As explicações sobre as trajetórias ficavam mais simples quando se tomava o Sol como referência.

O astrônomo alemão Johannes Kepler, de posse das medidas precisas das posições dos planetas feitas a olho nu por Tycho Brahe (1546-1601), aperfeiçoou o modelo de Copérnico. A contribuição de Kepler à Astronomia é apresentada em três leis que descrevem os movimentos dos planetas em torno do Sol – as leis de Kepler.

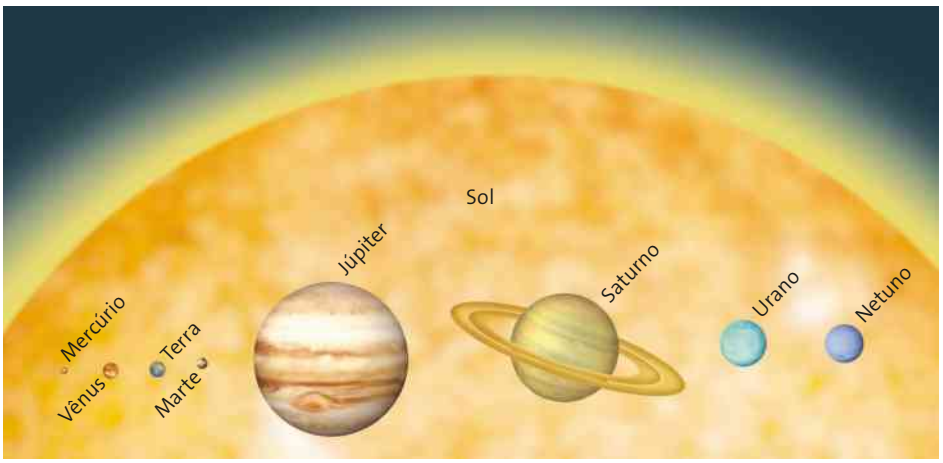
Finalmente, com a teoria da gravitação universal elaborada por Isaac Newton (1642-1727), a humanidade pôde entender melhor como a Terra e os demais planetas do Sistema Solar mantêm-se em órbitas elípticas em torno do Sol.

Com base no texto, responda, em seu caderno, às duas questões seguintes:

1. Explique a diferença entre o modelo geocêntrico e o heliocêntrico.
2. Qual é a dificuldade, apontada no texto, em percebermos o movimento da Terra?

Sistema Solar

Na figura 9.1, temos os planetas do Sistema Solar, com seus tamanhos representados em escala. A região amarelada circular, ao fundo, corresponde a um pedaço do Sol, para dar ideia de quanto esse astro é maior que os planetas.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 9.1 Representação em cores fantasia dos planetas do Sistema Solar. Nesta ilustração, os tamanhos dos astros estão em proporção, mas as distâncias entre eles estão fora de escala.

Os oito planetas podem ser classificados em duas categorias: os **jovianos** e os **telúricos**. Jove era outro nome atribuído ao deus Júpiter em Roma. Dessa forma, a expressão "planeta joviano" significa que o planeta é parecido com Júpiter, isto é, formado por grandes massas gasosas em torno de um (relativo) pequeno núcleo rochoso. Além de Júpiter, são jovianos Saturno, Urano e Netuno. Todas as suas órbitas são externas à da Terra. Para esses planetas, o termo "superfície" se refere às nuvens mais externas que apresentam. Em suas composições há abundância de elementos leves, como o hidrogênio e o hélio.

Já o termo "telúrico" refere-se à Terra, isto é, os planetas telúricos são aqueles que apresentam composição parecida com a de nosso planeta, como ocorre com Mercúrio, Vênus e Marte. Em suas composições há abundância de elementos pesados, como ferro, níquel, enxofre, silício, etc. Dentre eles, apenas Marte tem órbita mais externa que a da Terra.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Exercício

1. Considerando a distância Terra-Sol como igual a 1 u, a tabela ao lado apresenta as distâncias dos oito planetas até o Sol.

a) Se a luz do Sol gasta cerca de 500 s para chegar até a Terra, quanto tempo ela gastará para chegar ao planeta Netuno? $\Delta t = 4$ h 10 min.

b) Se você fizer um desenho em uma escala na qual a distância Terra-Sol corresponda a 1,0 m, qual será o diâmetro do Sol, em milímetros? O diâmetro do Sol é cerca de 1,4 milhão de quilômetros, e a distância Terra-Sol, cerca de $1{,}5 \cdot 10^8$ km. $d = 9{,}3$ mm.

Distâncias dos planetas ao Sol

Planeta	Distância (u)
Mercúrio	0,387
Vênus	0,723
Terra	1,00
Marte	1,524
Júpiter	5,203
Saturno	9,539
Urano	19,18
Netuno	30,06

Fonte: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <astro.if.ufrgs.br/ssolar.htm>. Acesso em: fev. 2016.

2 As leis de Kepler

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

O aprimoramento das medições astronômicas ao longo do século XVI mostrou que as órbitas dos planetas não eram exatamente circunferências, como havia proposto Copérnico. Havia pequenas diferenças e Kepler se propôs a elucidá-las.

O período de 1601 a 1612 foi o mais produtivo da vida de Kepler. Nesse período, trabalhando em Praga como matemático imperial, ele elaborou as três leis que descrevem os movimentos planetários.

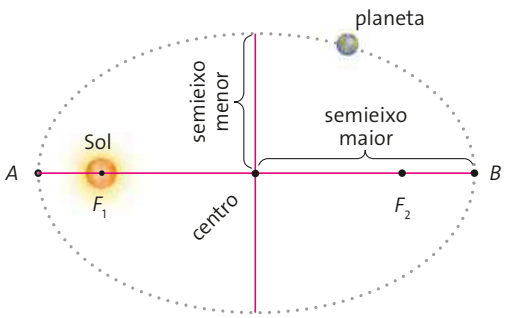
Primeira lei de Kepler: a lei das órbitas

A primeira lei de Kepler, conhecida como lei das órbitas, estabelece que:

> Todos os planetas, incluindo a Terra, giram em torno do Sol em órbitas elípticas. Em cada uma dessas órbitas, o Sol ocupa um dos focos da elipse (**figura 9.2**).

Os oito planetas conhecidos do Sistema Solar (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno) giram ao redor do Sol em órbitas elípticas. Cada planeta, em seu movimento, passa pelos pontos denominados **periélio** (*A*) e **afélio** (*B*).

O periélio é o ponto da trajetória do planeta mais próximo em relação ao Sol, e o afélio, o ponto mais afastado. Na órbita da Terra, o periélio ocorre no final do mês de dezembro e encontra-se a 147 milhões de quilômetros do Sol e, o afélio, no final do mês de junho, a 152 milhões de quilômetros: uma diferença menor do que 4%, isto é, a órbita da Terra é praticamente circular.

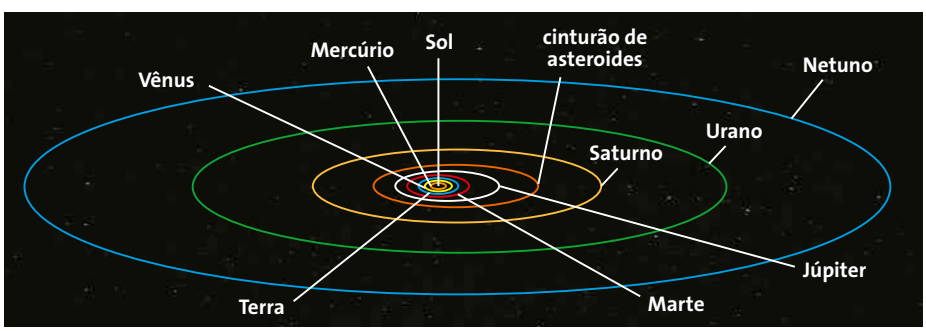


Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 9.2 O ponto *A* representa o periélio; o ponto *B*, o afélio. F_1 e F_2 são os focos da elipse. Representação sem escala e em cores fantasia.

Segundo a primeira lei de Kepler, as órbitas dos planetas são elípticas, com o Sol ocupando um dos focos da elipse. A órbita circular pode ser entendida como o caso extremo em que os focos da elipse coincidem; nesse caso, o Sol ocupa o centro da circunferência descrita pelo planeta.

Na **figura 9.3** vemos as órbitas representadas em escala. Na imagem podemos perceber que, em comparação com suas órbitas, os planetas são muito pequenos e que o Sistema Solar é extremamente vazio. O Universo, aliás, é mais vazio ainda. Em uma escala em que a distância Terra-Sol fosse de 1,0 m, por exemplo, o próximo corpo astronômico a ser encontrado, se você saísse do Sistema Solar na direção adequada, seria a estrela Alfa (α) da constelação de Centauro, a cerca de 250 km!

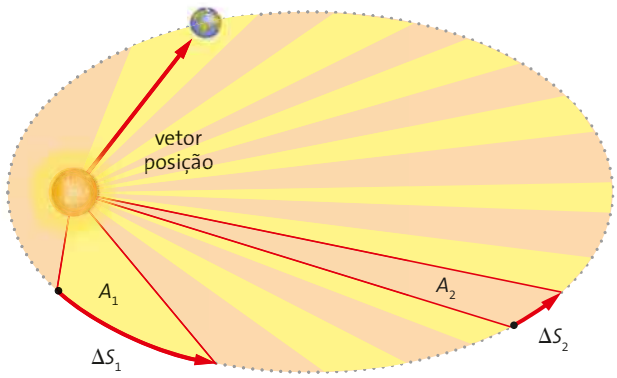


Formato/Arquivo da editora

Figura 9.3 Órbitas planetárias em escala e o cinturão de asteroides depois da órbita de Marte. Os planetas não estão representados, pois nesta escala qualquer um deles seria menor que a espessura de um fio de cabelo humano.

Segunda lei de Kepler: a lei das áreas

A segunda lei de Kepler é relacionada com a velocidade de um planeta que gira em torno do Sol. Um planeta, em sua órbita em torno do Sol, move-se de tal forma que o vetor posição com origem no centro do Sol e extremidade no centro do planeta "varre" áreas iguais em intervalos de tempo iguais (**figura 9.4**).



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 9.4 Nesta representação (sem escala e em cores fantasia), cada área colorida (amarela ou alaranjada) é igual a todas as outras e corresponde a um mesmo intervalo de tempo no percurso do planeta ($A_1 = A_2 \Leftrightarrow \Delta t_1 = \Delta t_2$).

Um planeta qualquer do sistema planetário movimenta-se ao redor do corpo central com velocidade variável, apresentando um valor máximo no periélio e um valor mínimo no afélio. No caso específico da Terra, a velocidade no periélio é de 30,3 km/s; no afélio, 29,3 km/s.

Pela definição de velocidade escalar média, podemos escrever:

$$v_1 = \frac{\Delta S_1}{\Delta t_1} \quad \text{e} \quad v_2 = \frac{\Delta S_2}{\Delta t_2}$$

Como $\Delta t_1 = \Delta t_2$ e $\Delta S_1 > \Delta S_2$ (observe a **figura 9.4**), concluímos que:

$$v_1 > v_2$$

A **figura 9.5** mostra (sem escala e em cores fantasia) um corpo em órbita elíptica em torno do Sol. Observe que no ponto *P*, um ponto qualquer da trajetória na fase de aproximação, a força gravitacional $\vec{F}_P$ age para acelerar o movimento, pois o ângulo entre a força e a velocidade é agudo, ou seja, a força está realizando trabalho motor. Já no ponto *Q*, um ponto qualquer da fase de afastamento, o ângulo é obtuso e a força $\vec{F}_Q$ age para retardar o movimento, realizando trabalho resistente.

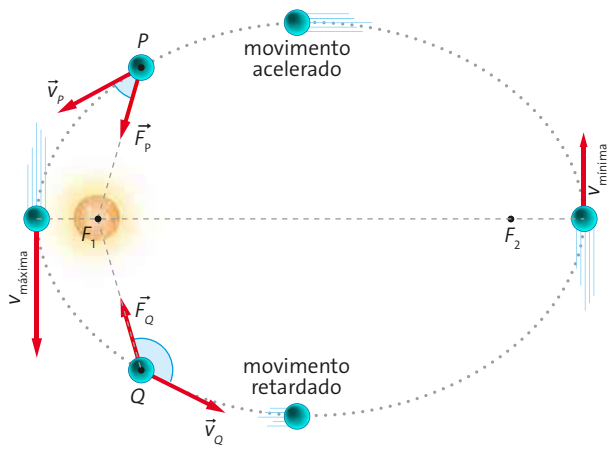


Figura 9.5 Na órbita elíptica, à medida que o corpo orbital se aproxima do Sol, a intensidade de sua velocidade vai aumentando, atingindo o valor máximo no periélio; à medida que ele se afasta do Sol, a intensidade da velocidade vai diminuindo, atingindo o mínimo no afélio. Representação sem escala e em cores fantasia.

Terceira lei de Kepler: a lei dos períodos

A terceira lei de Kepler relaciona o intervalo de tempo gasto por um planeta numa volta completa ao redor do Sol (período) com a distância média do planeta até o Sol (raio médio da órbita).

Para órbitas circulares, o raio médio equivale ao raio da órbita. Para órbitas elípticas, o raio médio é a medida do semieixo maior da elipse (figura 9.6). Sendo r_a a distância do planeta até o Sol no afélio e r_p a distância no periélio, temos:

$$r = \frac{r_p + r_a}{2}$$

A terceira lei de Kepler estabelece que:

> O quadrado do período de revolução é diretamente proporcional ao cubo do raio médio da órbita.

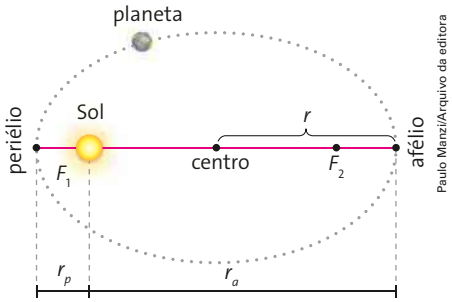


Figura 9.6 Quanto mais distante do Sol é a órbita de um planeta, maior é o tempo gasto por ele para fazer uma revolução (uma volta) em torno do Sol. Representação sem escala e em cores fantasia.

Sendo T o período de revolução de um planeta ao redor do Sol e r o raio médio da órbita descrita pelo planeta, escrevemos:

$$\frac{T^2}{r^3} = \text{constante}$$

Essa constante não depende da massa do corpo que está orbitando, mas sim da massa do corpo central.

As leis de Kepler valem também para o movimento de satélites ao redor dos planetas. Nesses casos, o corpo central é o próprio planeta. Se for um corpo orbitando a Terra, como os satélites artificiais, por exemplo, o ponto da órbita mais próximo é chamado de perigeu, e o mais distante, de apogeu.

Exercício resolvido

1. Na figura a seguir temos a representação (sem escala) de uma estação orbital *A* de órbita circular, de raio *r*, e geoestacionária, isto é, completa uma revolução em torno da Terra no período de 1 dia. Um pacote é lançado de *A* para outra estação, *B*, situada em outra órbita circular de raio 3*r*.



A órbita do pacote é chamada de **órbita de transferência**. A posição de lançamento é o ponto *C*, conveniente para que o pacote seja recolhido no ponto *M*, da órbita de *B*. O centro do planeta e os pontos *M* e *C* estão alinhados. Após quantos dias, depois de lançado, o pacote será recolhido no ponto *M*?

Resolução:

O raio médio r_m da órbita elíptica do pacote é dado por:

$$r_m = \frac{r + 3r}{2} \Rightarrow r_m = 2r$$

E, de acordo com a terceira lei de Kepler, temos:

$$\left(\frac{T^2}{r^3}\right)_{\text{estação } A} = \left(\frac{T^2}{r^3}\right)_{\text{pacote}} \Rightarrow \frac{1^2}{r^3} = \frac{T_p^2}{(2r)^3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_p^2 = \frac{1 \cdot 8r^3}{r^3} = 8 \Rightarrow T_p = 2\sqrt{2} \text{ dia}$$

O tempo para o pacote ir de *C* a *M* é a metade do período. Logo:

$$\Delta t = \sqrt{2} \text{ dia.}$$

Dan Burbank/Nasa



Figura 9.7 Os cometas são, basicamente, constituídos de CO_2 (gás carbônico), CH_4 (metano) e H_2O (água), permeados por silicatos (areia) e outros sólidos. Cometa Lovejoy, fotografado da Estação Espacial Internacional, em 2011.

Asteroides e cometas

Entre as órbitas de Marte e Júpiter, encontram-se centenas de milhares de corpos rochosos em órbita do Sol, alguns com dezenas de quilômetros de extensão, denominados asteroides, que formam um rarefeito cinturão orbital.

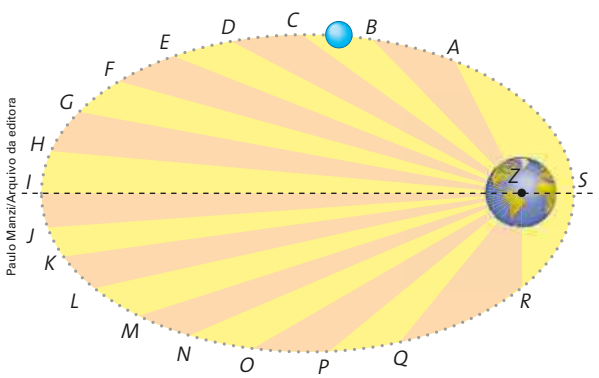
Depois da órbita de Netuno, há grandes pedaços de gelo, que são os cometas (**figura 9.7**). Alguns deles têm órbita extremamente alongada, isto é, a distância ao Sol no periélio é muito menor do que no afélio, e cada revolução em torno do Sol se faz em grandes períodos (da ordem de centenas de anos). A aproximação do Sol provoca a vaporização de parte do gelo, formando atrás do cometa uma cauda de centenas de quilômetros, muitas vezes visível da Terra a olho nu. Portanto, os cometas não têm cauda incandescente, como sugeriam algumas ilustrações da Idade Média.

Na realidade, de acordo com a concepção mais aceita atualmente pelos astrônomos, asteroides e cometas nunca fizeram parte de algum planeta: são fragmentos, remanescentes dos primórdios do Sistema Solar, que sobraram do processo de aglutinação que formou os planetas. Uma diferença básica entre os asteroides e os cometas é a distância média até o Sol. No caso dos cometas, o grande afastamento do Sol determina a abundância relativa de gelo (CO_2, CH_4 e H_2O) em sua composição.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Exercícios

2. A figura a seguir ilustra (sem escala e em cores fantasia) a trajetória elíptica de um satélite artificial em torno da Terra. As áreas dos setores alternadamente pintadas em amarelo e laranja têm todas o mesmo valor. O intervalo de tempo para que esse satélite dê uma volta completa é de 36 h, e ele gira no mesmo sentido de rotação da Terra (anti-horário).



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Analise as afirmações a seguir e reescreva, em seu caderno, aquelas que você julgar incorretas, corrigindo-as. Veja resposta completa no Manual do Professor.

V I. O centro da Terra (ponto *Z*) é um dos focos da elipse.

V II. O ponto *S* é o perigeu e *I* é o apogeu dessa órbita.

F III. Como as áreas são iguais, todos os trechos são percorridos pelo satélite com a mesma velocidade escalar.

V IV. O intervalo de tempo para que o satélite vá de *C* até *D* é 2 h.

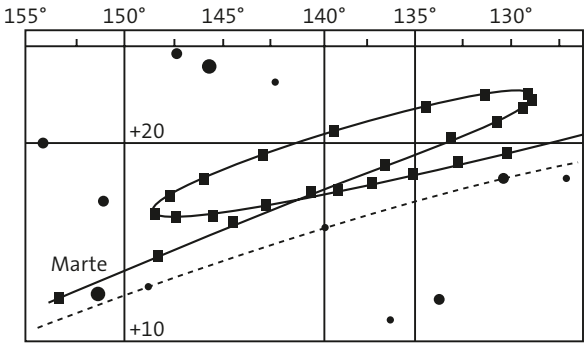
V V. O intervalo de tempo para que o satélite vá de *E* até *N* é igual ao intervalo para ir de *N* até *E*.

F VI. A velocidade escalar do satélite é máxima ao passar pelo ponto *I*.

V VII. O trecho da órbita *QR* é percorrido em movimento acelerado.

4. b) O total de anos em Marte seria menor do que a idade atual na Terra.

3. (Enem) A característica que permite identificar um planeta no céu é o seu movimento relativo às estrelas fixas. Se observarmos a posição de um planeta por vários dias, verificaremos que sua posição em relação às estrelas fixas se modifica regularmente. A figura destaca o movimento de Marte observado em intervalos de 10 dias, registrado na Terra.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Projecto física. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980 (adaptado).

Qual é a causa da forma da trajetória do planeta Marte registrada na figura?

X a) A maior velocidade orbital da Terra faz com que, em certas épocas, ela ultrapasse Marte.

b) A presença de outras estrelas faz com que sua trajetória seja desviada por meio da atração gravitacional.

c) A órbita de Marte, em torno do Sol, possui uma forma elíptica mais acentuada que os demais planetas.

d) A atração gravitacional entre Terra e Marte faz com que este planeta apresente uma órbita irregular em torno do Sol.

e) A proximidade de Marte com Júpiter, em algumas épocas do ano, faz com que a atração gravitacional de Júpiter interfira em seu movimento.

4. De acordo com a 3ª lei de Kepler, quanto mais longe um planeta se encontra do Sol, maior o intervalo de tempo para ele efetuar uma volta completa ao redor do Sol. Sabendo-se que a ordem de proximidade dos planetas do sistema solar é: Mercúrio – Vênus – Terra – Marte – Júpiter – Saturno – Urano – Netuno e que 1 ano terrestre = =365 dias:

a) determine o ano, em dias, no planeta Mercúrio.

Veja a tabela dada no exercício 1 com a distância de cada planeta ao Sol. $T_M = 0{,}24$ anos $= 89$ dias

b) Se você fosse um marciano e não um terráqueo, a sua idade, em anos marcianos, seria expressa por um número maior ou menor do que a sua idade atual na Terra? Justifique.

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

3 Os movimentos da Terra

Quantos movimentos a Terra apresenta? Alguns pesquisadores consideram que a Terra tem um único movimento, que é exatamente o movimento da Terra. No entanto, considerando um longo intervalo de tempo (milhares de anos), identificamos diferentes ciclos no movimento terrestre, ou seja, para efeito de análise, podemos decompor um movimento complexo em movimentos periódicos mais simples. Em quantos movimentos vamos decompor o complexo movimento da Terra depende da precisão que desejamos em cada análise.

A alternância dos dias e noites é um movimento periódico, de 24 horas, que é denominado dia solar. Esse período está predominantemente relacionado ao movimento de rotação da Terra em torno de seu eixo. Enquanto gira em torno de seu eixo, a Terra contorna o Sol, percorrendo a sua órbita em torno dessa estrela. Esse é o chamado movimento de translação da Terra, cujo período é de 1 ano. Para muitos propósitos, essa descrição já tem a precisão necessária.

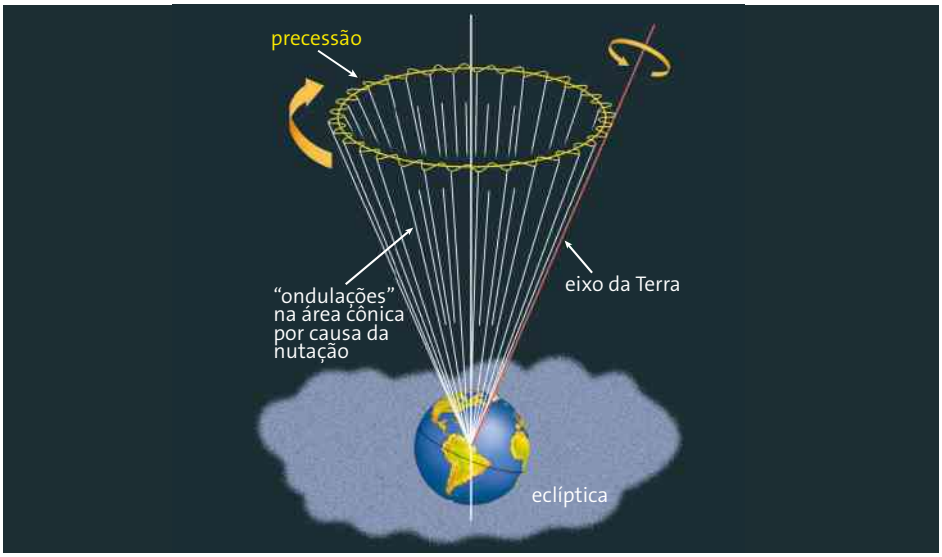
Mas e o eixo da Terra? Ele permanece sempre na mesma direção? Agora devemos passar para observações de maior precisão, e vamos verificar que o eixo de rotação da Terra gira em um movimento chamado de **precessão** (figura 9.8). O período desse movimento é de cerca de 26 000 anos.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 9.8 Representação (sem escala e em cores fantasia) da precessão do eixo de rotação da Terra. Daqui a cerca de 13 000 anos, Vega será a estrela polar do hemisfério norte.

Uma observação ainda mais apurada vai nos mostrar que, enquanto o eixo precessa, ele também oscila levemente dentro do cone de precessão, em um movimento chamado de nutação (figura 9.9).



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

Figura 9.9 Representação da nutação do eixo de rotação da Terra. O período desse movimento é de 18,6 anos.

As estações do ano

Enquanto a Terra orbita o Sol, em órbita praticamente circular, ela vai girando em torno de si mesma. Esse eixo de rotação é inclinado em relação ao plano da órbita, daí a razão das estações do ano (figura 9.10). Essa inclinação é de, aproximadamente, 23,5°. Se o eixo de rotação da Terra fosse rigorosamente perpendicular ao plano de sua órbita, as estações do ano não existiriam.

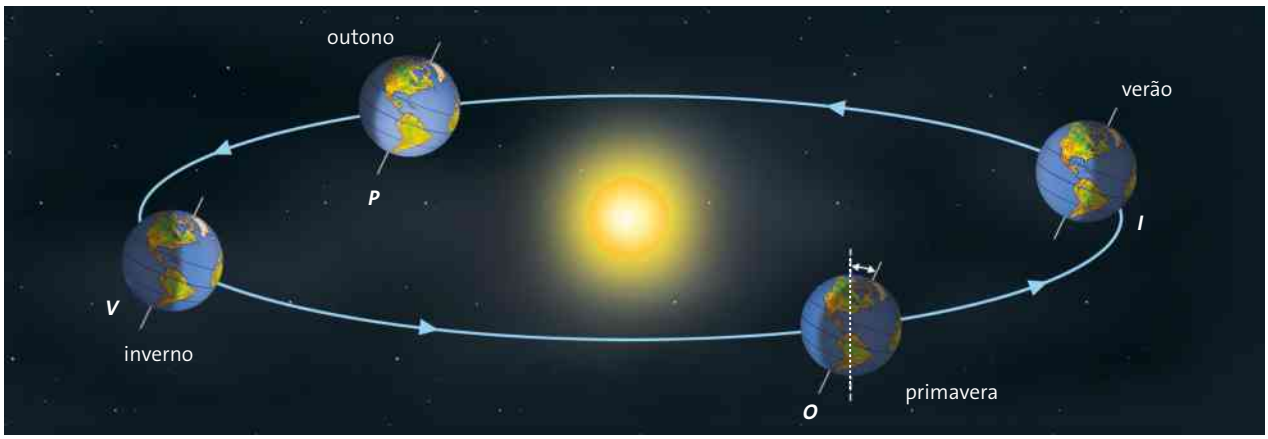


Figura 9.10 Variação da insolação de diferentes partes do planeta ao longo de um ano em virtude da inclinação do eixo da Terra. As estações indicadas referem-se ao hemisfério sul. Representação sem escala para dar destaque ao nosso planeta.

A inclinação da Terra, ajustada com seu movimento ao redor do Sol (translação), determina os períodos climáticos. Na Antiguidade, dividiam-se os períodos climáticos como período quente, que era subdividido em períodos de umidade moderada, de temperatura e umidade elevadas e de temperatura alta e umidade baixa, e período frio, que se subdividia em declínio gradual e período mais frio.

A divisão ocidental das estações do ano se baseia em instantes particulares da órbita da Terra, chamados solstícios e equinócios, determinando o início das quatro estações: primavera, verão, outono e inverno – mas essa divisão depende da cultura.

A figura 9.10 é um esquema de nosso planeta em sua órbita, cujo período é de 1 ano, com destaque para quatro ocasiões especiais, designadas por outono (*O*), inverno (*I*), primavera (*P*) e verão (*V*) no hemisfério sul.

Suponha dois pesquisadores, Norberto e Sérgio, que estão em uma estação de pesquisas, respectivamente, no polo norte e no polo sul.

No instante da posição *O*, tanto Norberto quanto Sérgio veem o Sol bem na linha do horizonte. Para Norberto, no polo norte, vai começar um longo crepúsculo (três meses), ao longo do qual ele não verá o Sol. Mas não será uma completa escuridão, pois o espalhamento da luz pela atmosfera proporciona certa luminosidade, como acontece em qualquer outro local do planeta. É o começo do outono no hemisfério norte. Para Sérgio, no polo sul, é o começo de um longo pós-alvorecer (também três meses), com o Sol subindo cada vez mais em relação ao horizonte. É o começo da primavera no hemisfério sul. Nesse instante, ambos os hemisférios são igualmente iluminados pelo Sol e, por isso, esse evento é chamado de **equinócio** (*equi*, do latim *aequus*, que significa 'igual'). É o equinócio do outono para o hemisfério norte e o equinócio da primavera para o hemisfério sul.

Quando a Terra atinge a posição *I*, para Norberto é o instante mais escuro do ano. Nessa posição, o Sol está 23,5° abaixo da linha do horizonte. É o começo do inverno no hemisfério norte. Sérgio, por sua vez, vê o Sol na posição mais elevada do ano, em relação ao horizonte; é o começo do verão no hemisfério sul. Para Sérgio, o Sol para de subir, para Norberto, o Sol para de descer. É o instante do **solstício** (em grego: 'Sol parado'). É o solstício de inverno no hemisfério norte e o solstício de verão no hemisfério sul.

A partir do ponto *I*, Norberto vai observar uma longa pré-alvorada (três meses): o céu vai ficando cada vez mais claro, até aparecer no horizonte, quando a Terra atingir *P*. Para Sérgio, o Sol vai ficando cada vez mais próximo do horizonte, até ficar exatamente no horizonte.

Em *P*, temos um novo equinócio. É o equinócio da primavera para o hemisfério norte e o equinócio do outono para o hemisfério sul. No hemisfério norte está começando a primavera, enquanto no hemisfério sul está começando o outono. A partir desse instante, Sérgio vai observar um longo crepúsculo (três meses), como Norberto observara seis meses antes, com o céu ficando cada vez mais escuro. Por sua vez, Norberto vai observar um longo nascer do Sol, até que ele atinja sua maior elevação em relação ao horizonte, quando a Terra chegar ao ponto *V*.

Quando a Terra estiver em *V*, para Norberto o Sol para de subir; é o solstício de verão no hemisfério norte. Nesse instante, para Sérgio, o Sol para de descer; é o solstício de inverno no hemisfério sul. Assim, começa o verão para o norte e o inverno para o sul. Depois disso, a Terra retorna a *O*. Passou-se um ano e começa um novo ciclo.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Exercícios

5. Como você explica o fato de a comemoração do Natal e do Ano-Novo ocorrer no inverno para os países da Europa e América do Norte (Portugal e Estados Unidos da América, por exemplo) e no verão para os países da América do Sul (Brasil e Chile, por exemplo)?
Veja resposta no Manual do Professor.

6. (UFG-GO) As estações do ano devem-se basicamente à inclinação do eixo de rotação da Terra, a qual possui um período de precessão próximo de 26 000 anos. Na época atual, os solstícios ocorrem próximos ao afélio e ao periélio. Dessa maneira, o periélio ocorre no mês de dezembro, quando a distância Terra-Sol é de 145×10^6 km, e a velocidade orbital da Terra é de 30 km/s. Considere que, no afélio, a distância Terra-Sol é de 150×10^6 km. Nesse sentido, a velocidade de translação da Terra no afélio e o momento astronômico que caracteriza o início da respectiva estação do ano devem ser:

a) 28 km/s durante o solstício de verão do hemisfério Norte.
X b) 29 km/s durante o solstício de inverno do hemisfério Sul.
c) 29 km/s durante o equinócio de outono do hemisfério Sul.
d) 31 km/s durante o equinócio de primavera do hemisfério Sul.
e) 31 km/s durante o solstício de verão do hemisfério Norte.

4 Gravitação universal

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

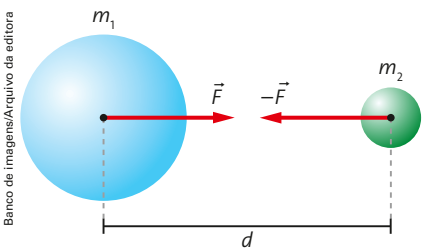
As leis de Kepler descrevem corretamente o movimento dos planetas, mas não explicam a razão dessas trajetórias. A explicação foi elaborada por Newton.

Em 1687, com a publicação de *Princípios matemáticos da Filosofia natural*, Newton lançou as bases da Física clássica, propondo a lei da atração gravitacional para explicar os movimentos dos planetas em torno do Sol, da Lua em torno da Terra e a queda dos **graves** (corpos que sofrem a ação da gravidade).

Os planetas são mantidos em órbita em torno do Sol em virtude de uma ação mútua, ou seja, em razão da força entre o Sol e os planetas. Exaustivamente verificada por processos experimentais, a lei da gravitação universal, associada às leis de Newton, foi o passo decisivo na descrição de nosso sistema planetário. Com essa lei, foi possível explicar e prever as trajetórias dos corpos sob ação gravitacional, além dos fenômenos mecânicos terrestres, derivando desse fato a denominação **universal**.

Segundo a lei da gravitação universal (figura 9.11):

> Matéria atrai matéria na razão direta do produto entre suas massas e na razão inversa do quadrado da distância que as separa.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 9.11 Os dois corpos dotados de massa (m_1 e m_2, respectivamente), cujos centros estão separados por uma distância d, exercem um no outro forças de atração mútua (de módulo $\vec{F}$).

Algebricamente, temos:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

Nessa expressão, G é a chamada constante de gravitação universal. No Sistema Internacional de Unidades (SI), temos:

$$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

A força de atração gravitacional se aplica a quaisquer dois corpos, de massas m_1 e m_2, independentemente do meio em que estejam imersos, mas somente se torna apreciável quando pelo menos um dos corpos possui massa extremamente grande (corpo astronômico).

Existe uma folclórica versão segundo a qual Newton, ao elaborar sua teoria da gravitação, teria sido inspirado por uma maçã que caiu em sua cabeça enquanto ele meditava embaixo de uma árvore. Provavelmente, trata-se de uma versão falsa, mas ela tem importância didática e histórica. Segundo Newton, a força com que a Terra atrai uma maçã tem a mesma natureza da força com a qual a Terra atrai a Lua e o Sol atrai a Terra.

Veja resposta no Manual do Professor.

Para refletir

Por que não sentimos a força gravitacional entre o nosso corpo e este livro? Para responder a essa pergunta, calcule o valor da força que atua sobre o seu corpo e o livro. Para isso estime a massa do livro.

Campo gravitacional

Newton não propôs uma explicação para o fato de o Sol agir na Terra, ou de a Terra agir na Lua, ou de a Terra agir na maçã, e vice-versa, sem um meio de transmissão de forças. Atualmente, usa-se o conceito de **campo gravitacional**. Considera-se que todo corpo material origina, na região do espaço ao seu redor, um campo de forças, denominado campo gravitacional. Não podemos vê-lo, não podemos tocá-lo, mas podemos verificar a sua existência com um corpo de prova.

O conceito de campo gravitacional abreviou e simplificou o estudo de vários problemas em gravitação, mas a questão sobre como esse campo é gerado teve de esperar mais de dois séculos, depois de Newton, para encontrar uma resposta, na teoria da relatividade geral, de Albert Einstein (1879-1955).

Qualquer partícula material origina, na região do espaço ao seu redor, um campo de forças denominado campo gravitacional (**figura 9.12**). No caso de um corpo esférico homogêneo, podemos considerar, para regiões externas a esse corpo, que toda a sua massa está localizada em seu centro.

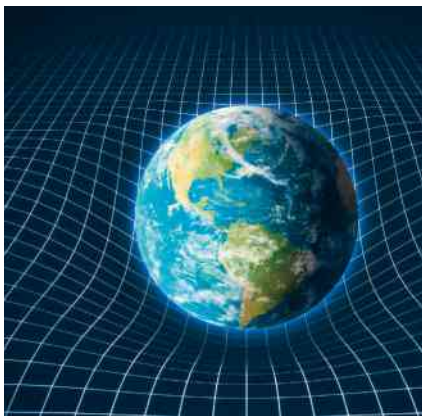
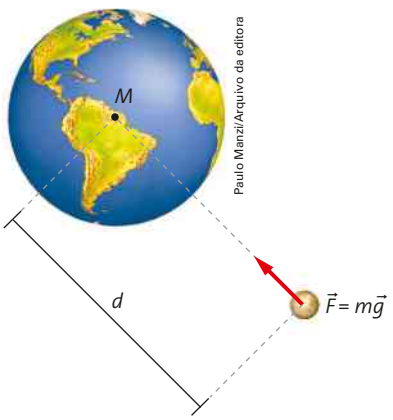

koya979/Shutterstock

Figura 9.12 A Terra, assim como todos os corpos materiais, possui ao seu redor um campo gravitacional que pode ser verificado com um corpo de prova. Representação artística sem escala e em cores fantasia.

Essa afirmação pode ser verificada facilmente por meio de um experimento simples: basta colocarmos nessa região um pequeno corpo de prova. Em virtude do campo gravitacional, o corpo de prova fica sujeito a uma força de atração gravitacional. É o que acontece, por exemplo, com os corpos colocados no campo gravitacional da Terra: todos são atraídos para o centro do planeta.

As fontes do campo gravitacional são os corpos massivos. O corpo de prova pode ser qualquer pequeno objeto, uma vez que a única exigência é que ele tenha massa. A força gravitacional é uma força de campo, ou seja, existe sem a necessidade de contato entre os corpos. Quando dois corpos de massas m_1 e m_2 se atraem, dizemos que cada um deles se encontra imerso em um campo de forças gerado pelo outro.

Observe na **figura 9.13** que, para cada ponto do espaço que circunda um corpo de massa M, associamos um vetor denominado vetor campo gravitacional $\vec{g}$, ou simplesmente campo gravitacional, definido de tal forma que, quando nesse ponto colocamos um corpo de massa m (corpo de prova), este fica sujeito a uma força dada por $\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}$.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 9.13 Um corpo de massa M gera ao seu redor um campo gravitacional. Representação sem escala e em cores fantasia.

De acordo com a lei da gravitação universal, $F_g = G \cdot \dfrac{m \cdot M}{d^2}$.

Igualando as expressões, obtemos:

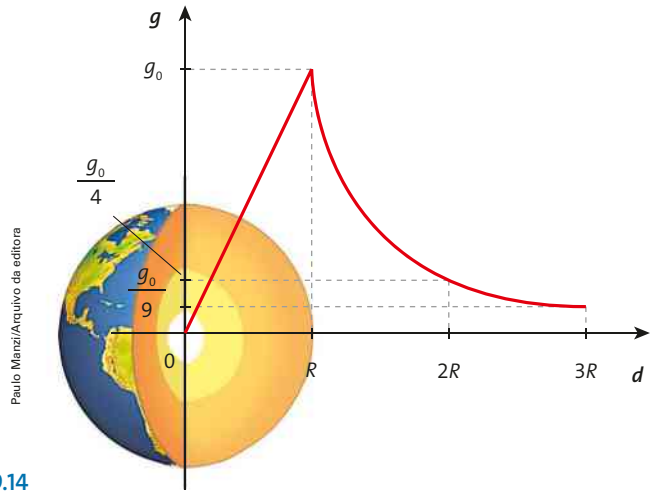
$$g = \frac{GM}{d^2}$$

Nessa expressão, no caso de um corpo esférico, d representa a distância de um ponto externo até o centro do corpo cuja massa é M. Essa expressão deve ser usada somente para pontos externos ao corpo. O campo gravitacional em um ponto qualquer depende somente da posição do ponto considerado e da massa M do corpo que gera o campo, ou seja, é uma característica do local, e não do corpo de prova utilizado.

No caso do campo gravitacional de um astro esférico e de densidade uniforme, temos (figura 9.14):

- para pontos na superfície do astro ($d = R$): $g = g_0 = \frac{GM}{R^2}$. Em particular, na Terra, obtemos: $g = 9{,}8\ \text{N/kg} = 9{,}8\ \text{m/s}^2$;
- para pontos a uma distância d do centro ($d > R$): $g = \frac{GM}{d^2}$;
- para pontos no interior do astro ($d < R$), o campo gravitacional varia linearmente com a distância medida a partir de seu centro.

Intensidade do campo gravitacional *g* de um astro de densidade constante em função da distância, a partir de seu centro



Paulo Manzi/Arquivo da editora

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

Figura 9.14

Em uma primeira aproximação, podemos usar as expressões obtidas para estimativas do campo gravitacional à medida que mergulhamos no interior dos astros. Na realidade, porém, a densidade dos astros vai aumentando quando nos aproximamos do centro de cada um.

A variação do campo gravitacional da Terra com a altitude é dada na tabela 9.1. Na tabela 9.2, apresenta-se a intensidade do campo gravitacional na superfície dos planetas do Sistema Solar.

Tabela 9.1 Intensidade do campo gravitacional da Terra com a mudança de altitude

Altitude (m)	***g*** (m/s²)
0	9,806
1 000	9,803
16 000	9,757
100 000	9,505

Fonte: HANDBOOK of Chemistry and Physics. 68th Edition. Chemical R. Publishing.

Tabela 9.2 Intensidade do campo gravitacional nas superfícies de alguns astros

Corpo celeste	***g*** (m/s²)
Mercúrio	3,62
Vênus	8,62
Terra	9,80
Marte	3,72
Júpiter	25,87
Saturno	11,27
Urano	11,47
Netuno	11,56

Fonte: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <astro.if.ufrgs.br/ssolar.htm>. Acesso em: fev. 2016.

Exercício resolvido

2. Em uma competição de salto em distância, um comentarista diz que, em razão da altitude do local em que a competição está acontecendo, as pessoas ficam mais leves e têm, portanto, melhor desempenho.

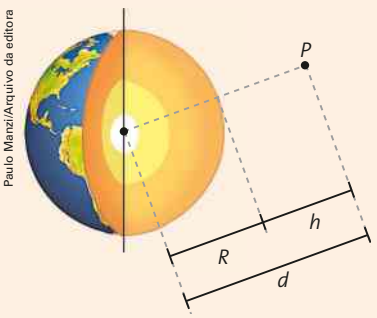
a) Em que altitude o peso de uma pessoa ficaria reduzido de 10%? Considere o campo gravitacional ao nível do mar como 9,8 m/s² e o raio da Terra igual a 6 400 km.

b) Existe algum ponto na superfície da Terra que obedeça a essa condição?

Resolução:

a) Na superfície da Terra, a intensidade do campo gravitacional pode ser obtida por $g_0 = \frac{GM}{R^2}$.

Para um ponto na altura h, conforme a figura (sem escala e em cores fantasia):



Paulo Manzi/Arquivo da editora

$$g = \frac{G \cdot M}{(R + h^2)}$$

Portanto: $\frac{g}{g_0} = \frac{G \cdot M}{(R + h)^2} \cdot \frac{R^2}{G \cdot M} \Rightarrow \frac{g}{g_0} = \frac{R^2}{(R + h)^2}$

Como queremos uma redução de 10% no peso, devemos impor que $g = 0{,}9 \cdot g_0$ (isto é, 90% de g_0). Logo:

$\frac{0{,}9 \cdot g_0}{g_0} = \frac{6\,400^2}{(6\,400 + h)^2}$ (expressão na qual h é obtida em quilômetros).

Temos então:

$(6\,400 + h)^2 = \frac{6\,400^2}{0{,}9} = 4{,}51 \cdot 10^6 \Rightarrow (6\,400 + h) = \sqrt{4{,}51} \cdot 10^3 = 6\,746 \Rightarrow h = 346$ km

b) Não. Esse valor está muito além das maiores altitudes que encontramos em nosso planeta. As mais altas montanhas não ultrapassam 10 km.

Exercícios

7. Isso ocorre por causa da diminuição do módulo do campo gravitacional da Terra com o aumento da distância do ponto ao centro da Terra.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

7. Na superfície da Terra, o peso de uma pessoa de massa 80 kg é 784 N ($g_0 = 9{,}8$ m/s²). Se essa pessoa se encontrar a bordo de uma nave em órbita da Terra a 6 400 km de altura, em relação à superfície da Terra, o seu peso será de 196 N, mas a sua massa continuará a ser 80 kg. Como você explica tal fato?

8. De acordo com a lei da gravitação universal, a Terra atrai a maçã e a maçã atrai a Terra. Explique por que é a maçã que cai, e não a Terra que sobe.

Resposta no Manual do Professor.

9. Há pessoas que afirmam que, nas espaçonaves em órbita, não há gravidade, pelo fato de elas estarem muito longe da Terra. Sabendo que a Estação Espacial Internacional está em órbita a uma altitude de 400 km, aproximadamente, e considerando o raio da Terra igual a 6 400 km, como você julga essa afirmativa? Resposta no Manual do Professor.

10. Na tabela seguinte, a aceleração da gravidade na superfície de alguns planetas do Sistema Solar é dada em função da aceleração da gravidade g na superfície da Terra.

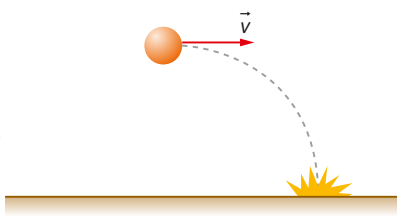
Planeta	Gravidade
Mercúrio	0,37 g
Vênus	0,88 g
Marte	0,38 g
Júpiter	2,64 g

Fonte: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <astro.if.ufrgs.br/ssolar.htm>. Acesso em: fev. 2016.

a) Em qual(is) deles a aceleração da gravidade é aproximadamente igual à aceleração da gravidade na superfície da Terra? Vênus

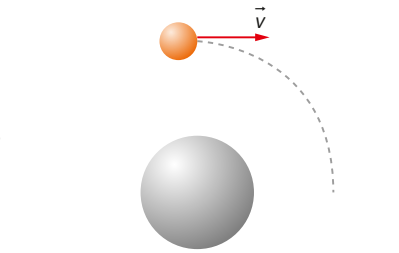
b) Se uma pedra for abandonada de um ponto situado à mesma altura da superfície do planeta, em qual deles, mostrado na tabela, ela chegaria ao solo no menor tempo? Júpiter

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.



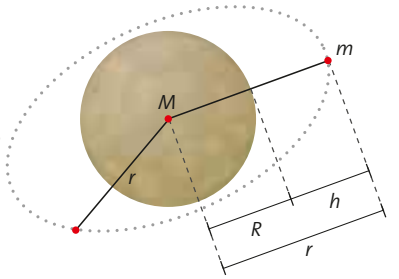
Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 9.15 Trajetória de um corpo lançado horizontalmente próximo à superfície da Terra.



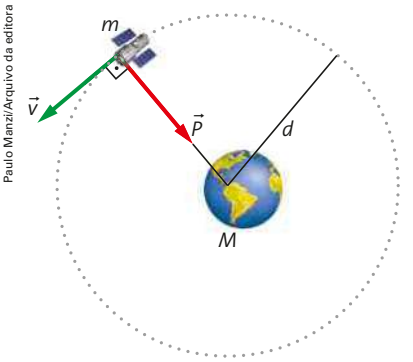
Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 9.16 Ao cair, o corpo não atinge a Terra, pois esta é esférica.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 9.17 Representação, em perspectiva, de um satélite (massa m) em órbita circular ao redor de um planeta (massa M).



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 9.18 A força peso age como resultante centrípeta no satélite.

5 Órbitas

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

Se a Terra atrai a Lua, porque a Lua não cai? Embora possa parecer estranho, a Lua cai, e continuará caindo. O próprio Isaac Newton calculou que, se uma maçã, a partir do repouso, cai 4,9 m no primeiro segundo de queda, então a Lua deveria cair $\frac{1}{20}$ de polegada a cada segundo.

Essa dúvida existe provavelmente porque, quando imaginamos um corpo caindo, pensamos também em um plano que será atingido por ele. Nessa linha de pensamento, se o corpo cai, em algum momento vai chegar ao chão.

Na **figura 9.15**, temos a ilustração de um corpo lançado horizontalmente de um ponto situado à altura h próximo da superfície da Terra.

Imagine então que o "chão" seja esférico, como na **figura 9.16**, e observe o mesmo trecho da queda do corpo.

Nessa figura, o corpo está caindo ou não está? Está, mas o "chão" é esférico. Esse é o estado dos corpos em órbita, como é o caso da Lua.

Órbita circular

Vamos considerar um satélite de massa m em órbita circular de raio r, ao redor de um planeta de massa M (**figura 9.17**).

Nas regiões onde os satélites são colocados em órbita, reina praticamente o vácuo. Nessas condições, a única força que age no satélite é a força peso, resultado da interação do satélite com o planeta. Nessas condições, a força peso é a força resultante no satélite e, como ela é sempre perpendicular à velocidade, age como resultante centrípeta (**figura 9.18**).

$$R_c = P \Rightarrow m \cdot a_c = m \cdot g \Rightarrow \frac{v^2}{d} = g \Rightarrow v_{circ.} = \sqrt{g \cdot d}$$

O campo gravitacional de um planeta em um ponto de altura h acima de sua superfície é:

$$g = \frac{G \cdot M}{d^2} \quad (\text{sendo } d = R + h)$$

Nessas condições, a velocidade de órbita circular de um satélite é:

$$v_{circ.} = \sqrt{\frac{G \cdot M}{d^2} \cdot d} \Rightarrow \boxed{v_{circ.} = \sqrt{\frac{G \cdot M}{d}}}$$

Como vimos, ao estudar a segunda lei de Kepler, o tempo de uma volta completa é denominado período orbital T. O percurso referente a uma volta completa em uma órbita circular é o perímetro da circunferência de raio d (sendo d o raio da órbita). Como o movimento é uniforme, podemos escrever:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{2\pi \cdot d}{T}$$

O valor de v, em função da massa do corpo central, foi determinado no tópico anterior. Então, obtemos:

$$\sqrt{\frac{G \cdot M}{d}} = \frac{2\pi \cdot d}{T} = \frac{G \cdot M}{d} = \frac{4\pi^2 \cdot d^2}{T^2} \Rightarrow \frac{d^3}{T^2} = \frac{G \cdot M}{4\pi^2} = \text{constante}$$

Esta última expressão é a terceira lei de Kepler. Observamos que a constante do sistema planetário não depende da massa do corpo que está orbitando, mas somente da massa do corpo central.

Em Astronomia, essa expressão é bastante útil. Conhecendo o raio médio da órbita e o período de um dos satélites de determinado planeta, podemos determinar a massa desse planeta.

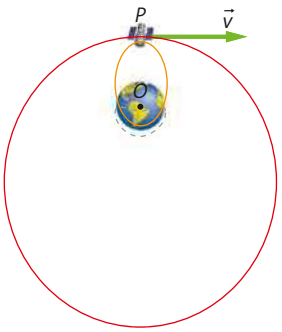
Órbitas elípticas

Vamos considerar um satélite em órbita em torno da Terra, com uma velocidade $\vec{v}$ que não seja suficiente para ele escapar do campo gravitacional terrestre, conforme a **figura 9.19**.

Se a direção da velocidade for perpendicular à linha que une o satélite ao centro da Terra e o módulo da velocidade v for diferente do módulo da velocidade circular $v_{circ.}$, deduzida no item anterior, então o satélite estará em uma órbita elíptica. Nessa situação, temos duas possibilidades:

- se v for maior do que $v_{circ.}$, o ponto P será o perigeu da órbita do satélite (órbita representada pela elipse vermelha, na **figura 9.19**);
- se v for menor do que $v_{circ.}$, o ponto P será o apogeu da órbita do satélite (elipse laranja, na **figura 9.19**).

Nas altitudes em que os satélites gravitam reina praticamente o vácuo, mas não o vácuo absoluto. Embora ele esteja em uma parte extremamente rarefeita da atmosfera, após anos orbitando, a velocidade do satélite é afetada, principalmente nas órbitas mais baixas. Com isso, ele pode passar para uma órbita elíptica que intercepta a superfície da Terra, conforme a **figura 9.20**.



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 9.19 Representação (sem escala e em cores fantasia) de duas possíveis órbitas para um satélite lançado em *P* com velocidade *v* perpendicular a *PO*.

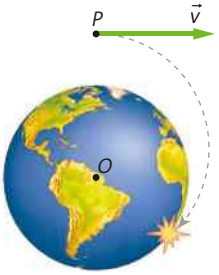


Figura 9.20 A velocidade do satélite em *P* determinou uma órbita que vai interceptar a superfície da Terra. Representação sem escala e em cores fantasia.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

Exercícios

11. Os satélites artificiais podem ser utilizados para estudos climáticos e previsão de furacões. Em julho de 2004, a Nasa lançou o satélite Aura, cuja órbita circular está a 700 km de altitude em relação à superfície da Terra. Considerando o raio da Terra como 6 400 km, responda às questões:

a) Com que velocidade, em km/h, o satélite Aura se desloca em sua órbita? $v = 27\,000$ km/h.

b) Quanto tempo ele demora para efetuar uma volta completa em torno da Terra? $t = 1$ h 39 min.

12. (Fuvest-SP) A notícia "Satélite brasileiro cai na Terra após lançamento falhar", veiculada pelo jornal *O Estado de S. Paulo* de 10/12/2013, relata que o satélite CBERS-3 desenvolvido em parceria entre Brasil e China, foi lançado no espaço a uma altitude de 720 km (menor do que a planejada) e com uma velocidade abaixo da necessária para colocá-lo em órbita em torno da Terra. Para que o satélite pudesse ser colocado em órbita circular na altitude de 720 km, o módulo de sua velocidade (com direção tangente à órbita) deveria ser de, aproximadamente:

Note e anote: raio da Terra $= 6 \cdot 10^3$ km; massa da Terra $= 6 \cdot 10^{24}$ kg; constante de gravitação universal $= 6{,}7 \cdot 10^{-11}$ m³/(s² · kg).

a) 61 km/s
b) 25 km/s
c) 11 km/s
X d) 7,7 km/s
e) 3,3 km/s

13. Metis é uma pequena lua de Júpiter, descoberta em 1979, por meio de imagens fornecidas pela sonda espacial Voyager I. De acordo com dados da Nasa, essa lua tem raio de 20 km e massa $9{,}0 \cdot 10^{16}$ kg. Um fato curioso a respeito desse astro é que a velocidade necessária para uma órbita rasante (o raio da órbita é igual ao raio do astro) em torno dele é comparável à velocidade de uma bola de futebol num chute a gol.

a) Faça uma estimativa para a velocidade da órbita rasante. $v = 17{,}3$ m/s ou 62,3 km/h.

b) Calcule o período, em horas, para uma órbita rasante. Utilize $\pi = 3$. $t = 2$ h.

Veja comentários e respostas desta seção no Manual do Professor.

Imponderabilidade e microgravidade

Alguns parques de diversões possuem uma espécie de elevador que leva várias pessoas até uma altura considerável e, em seguida, é liberado, permanecendo em queda livre durante um curto intervalo de tempo. Nesse intervalo, as pessoas sentem que o chão "fugiu de seus pés". Alguns dizem até sentir que "perderam o peso". Na verdade, o que as pessoas perdem durante o curto intervalo de queda livre é o apoio.

Nenhum de nós, no dia a dia, sente o próprio peso: o que sentimos é se estamos apoiados ou não. O apoio impede que a força peso nos leve Terra para dentro e, em decorrência disso, temos a ação de duas forças opostas – que não constituem um par ação e reação – cuja tendência é comprimir as partículas de nosso corpo. Se nos dependurarmos no teto, teremos uma sensação diferente, provocada pela tendência de as partículas do corpo se separarem, em virtude do esforço de tração.

Voltemos ao elevador. Suponha que você decida medir o peso de um corpo usando um dinamômetro, durante o curto intervalo em que o elevador está em queda livre. Quando você tentar dependurar o corpo no dinamômetro, ele estará caindo – com você e também com o dinamômetro. Sendo assim, durante a queda livre, não é possível pesar o corpo por esse processo. A aparente ausência de peso de um corpo em queda livre é denominada **imponderabilidade**.

Nasa/Arquivo da editora



A bordo de uma espaçonave em órbita da Terra, os astronautas encontram-se em queda livre. Com isso, eles experimentam a imponderabilidade. Astronautas Greg Chamitoff, Michael Fincke e Richard Garriott na Estação Espacial Internacional, 2008.

Não é estranho que as pessoas confundam a ausência da força de apoio com a ausência de gravidade. Além disso, essas considerações nos ajudam a compreender por que as experiências feitas nas espaçonaves em órbita são chamadas de experiências em **microgravidade**.

Do ponto de vista do astronauta que está em uma espaçonave em órbita (queda livre), se não olhar pelas janelinhas da espaçonave, não terá como saber se ele está na ausência de gravidade ou em queda livre. As duas situações são equivalentes. Ora, se são equivalentes, por que não considerar que o astronauta se encontra em um local sem gravidade, onde pode fazer seus experimentos, como abrir uma garrafa e ver a formação de esferas de água, carregar um bloco de 1000 kg, dormir em qualquer posição, se os cálculos forem mais simples?

Para finalizar, por que microgravidade? Porque o próprio astronauta é um corpo massivo e, como tal, gera um campo gravitacional ao seu redor. Embora a intensidade desse campo seja insignificante, um experimento com gravidade zero teria de ser um experimento sem corpos materiais presentes.

1. Por que, ao pesar um corpo com um dinamômetro de molas, esperamos a situação de equilíbrio para fazer a leitura?
2. Se em uma espaçonave em órbita o astronauta tiver uma moeda na mão e soltá-la, o que acontece?

6 A energia mecânica e as trajetórias

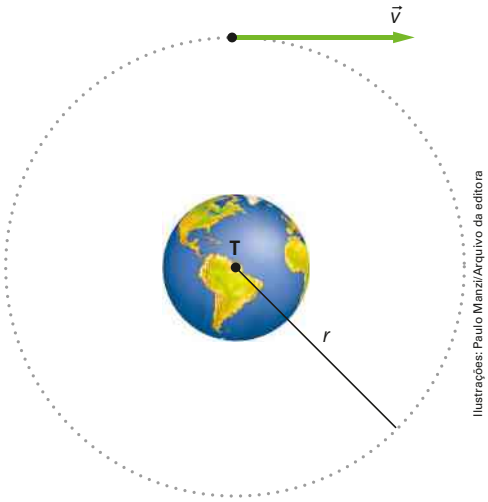
Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

Como a força gravitacional é conservativa, a energia mecânica E_{mec} de um corpo em órbita, que corresponde à soma da energia cinética E_c com a energia potencial E_p, é constante.

No caso de um satélite em órbita circular em torno da Terra, como a velocidade dele é constante em módulo, sua energia cinética também é constante. O mesmo acontece com a energia potencial, pois a distância entre o satélite e a Terra é sempre a mesma. Assim, a soma das duas, $E_c + E_p$, dá sempre o mesmo resultado (**figura 9.21**).

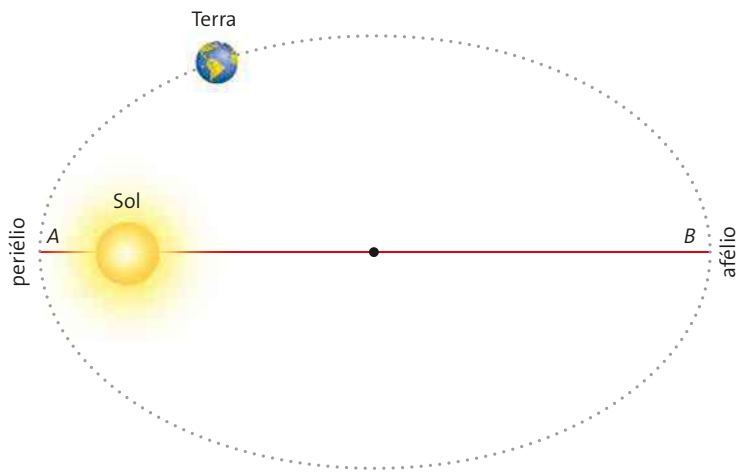
Para um corpo em órbita elíptica, vamos considerar o movimento de translação da Terra em torno do Sol. No periélio (ponto *A* da **figura 9.22**), ponto de maior proximidade da Terra em relação ao Sol, a energia potencial é mínima e, como a velocidade da Terra é máxima, sua energia cinética é máxima.

No afélio (ponto *B* da **figura 9.22**), ponto de maior afastamento da Terra em relação ao Sol, a energia potencial é máxima e, como a velocidade nesse ponto é mínima, a energia cinética é mínima.



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 9.21 Representação de um satélite em órbita circular: a energia mecânica tem o mesmo valor em qualquer ponto da órbita.



As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

Figura 9.22 Trajetória elíptica da Terra em torno do Sol. As energias cinética e potencial variam, mas a energia mecânica permanece constante.

$$E_{CA} + E_{PA} = E_{CB} + E_{PB} = E_M \text{ (constante)}$$

Velocidade de escape

Quando lançamos um corpo para cima, ele sobe até determinado ponto, denominado altura máxima, e em seguida cai. No entanto, se aumentarmos cada vez mais a velocidade de lançamento, chegaremos a um valor, denominado velocidade de escape v_e, suficiente para que o corpo não mais retorne, escapando da atração gravitacional da Terra.

Para obter a velocidade de escape, vamos considerar um ponto bem afastado da superfície (infinito), livre da ação gravitacional da Terra. Nesse ponto, a energia potencial é nula e é desnecessário que o corpo tenha energia cinética, pois ele já escapou do campo gravitacional.



Maurício Simonetti/Pulsar Imagens

Figura 9.23 Réplica de um VLS produzido pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), exposto no memorial Aeroespacial Brasileiro. São José dos Campos (SP), 2010.

Assim, para um ponto infinitamente afastado da Terra, temos:

$$E_c = 0 \text{ e } E_p = 0$$

Para pontos na superfície da Terra, temos:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} \text{ e } E_p = \frac{G \cdot M \cdot m}{R}$$

Considerando o sistema conservativo, a energia mecânica na superfície da Terra é igual à energia mecânica no infinito (bem distante da Terra). Portanto, para obter a velocidade de escape de um corpo lançado da superfície do planeta, escrevemos:

$$\frac{m \cdot v_e^2}{2} + \left(-\frac{G \cdot M \cdot m}{R}\right) = 0 \Rightarrow v_e^2 = \frac{2 \cdot G \cdot M}{R} \Rightarrow v_e = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}$$

Comparando esse resultado com a expressão da velocidade circular, temos:

$$v_e = \sqrt{2} \cdot v_{circ.}$$

Essa expressão, que nos dá a velocidade necessária para um corpo escapar do campo gravitacional da Terra, é válida também para qualquer planeta de massa M e raio R, sem levar em conta forças dissipativas.

Substituindo os valores da massa e do raio da Terra, obtemos a velocidade de escape do planeta Terra:

$$v_e = 11\,200 \text{ m/s} = 11{,}2 \text{ km/s} = 40\,000 \text{ km/h}$$

Portanto, desprezando a resistência do ar, um corpo lançado da superfície da Terra com velocidade de 11,2 km/s não mais retorna, escapando assim da atração gravitacional do planeta. Para velocidades superiores a essa, o corpo escapa e, mesmo muito afastado, ainda possui uma sobra de energia cinética.

Observe que estamos falando de um corpo sem propulsão, ou seja, de um corpo para o qual toda a energia necessária ao escape é fornecida no ato do lançamento. Esse não é o caso dos Veículos Lançadores de Satélite (VLS) (**figura 9.23**), que vão ganhando velocidade gradativamente mediante o consumo de combustível.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

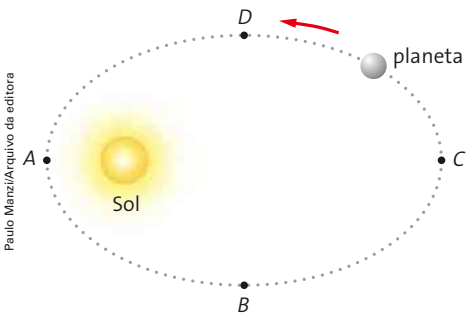
Exercício

14. A trajetória de um planeta em torno do Sol é mostrada na figura (sem escala e em cores fantasia).
Em qual dos pontos, *A*, *B*, *C* ou *D*, o planeta possui maior:

a) energia cinética? Ponto *A* (periélio).

b) energia potencial? Ponto *C*.

c) energia mecânica? A energia mecânica é a mesma em todos os pontos.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Em construção

Veja comentários sobre este tópico no Manual do Professor.

Kepler, Tycho Brahe e os movimentos dos planetas

O lançamento do livro *De revolutionibus orbium coelestium* (Da revolução das esferas celestes) por Nicolau Copérnico (1473-1543), no ano de sua morte, marcou o começo de uma mudança na visão de um universo geocêntrico (a Terra no centro do universo) para um universo heliocêntrico, no qual os planetas (do Sistema Solar) giram ao redor do Sol.

Astrônomo, matemático e astrólogo alemão, nascido em 27 de dezembro de 1571, em Weil der Stadt, e falecido em 15 de novembro de 1630 em Ratisbona, na Alemanha, **Johannes Kepler** iniciou seus estudos visando à carreira teológica. Mas, na universidade, após ler o trabalho de Copérnico, se tornou um entusiasta defensor do heliocentrismo.

Por volta de 1600, Kepler mudou-se para Praga, na atual República Tcheca, para assumir o posto de assistente do astrônomo e matemático imperial Tycho Brahe. Após a morte de Tycho, Kepler herdou seu posto e seus dados, a cujo estudo se dedicou pelos 20 anos seguintes.

O planeta para o qual havia o maior número de dados era Marte. Kepler conseguiu determinar as diferentes posições da Terra após cada período sideral de Marte, e assim conseguiu traçar a órbita da Terra. Verificou que essa órbita se ajustava muito bem a um círculo excêntrico, isto é, com o Sol um pouco afastado do centro. Nesse período, Kepler lançou as bases das três leis (que levam o seu nome) dos movimentos dos planetas em torno do Sol.



Reprodução/Museu de Ciências de Londres, Inglaterra

Retrato de Johannes Kepler.

Tycho Brahe, astrônomo, nasceu em 14 de dezembro de 1546 em Skåne, na Dinamarca, e faleceu em 24 de outubro de 1601 em Praga, na República Tcheca.

O interesse pela astronomia o levou para a leitura do *Almagesto* de Ptolomeu e, à medida que se aprofundava nesses conhecimentos, Tycho percebeu a necessidade de instrumentos mais precisos e de técnicas de observação mais acuradas.

Em 1572, Tycho descobre, com uma precisão sem precedentes para a sua época, a posição exata da *estrela nova*, na constelação de Cassiopédia. Em 1575, recebe de Frederico II (1534-1588), rei da Dinamarca, a ilha de Hven e uma pensão anual para construir e equipar um novo observatório astronômico com os melhores equipamentos. Com isso, Brahe tornou-se o principal astrônomo da época.

Todo o trabalho de compilação de dados astronômicos de Tycho Brahe foi editado, após sua morte, por Kepler, com o título de *Novos conceitos astronômicos*, e foi fundamental para os trabalhos de Kepler e de Newton.



Look and Learn/The Bridgeman Art Library/Keystone/Coleção particular

Retrato de Tycho Brahe.

Trabalho em equipe

Propomos que vocês conheçam mais profundamente a vida e o trabalho de Kepler, suas relações com a ciência, com a religião e com aquele que possibilitou a elaboração de suas leis sobre o movimento dos planetas: Tycho Brahe. Para isso, propomos a leitura de "O divisor de águas", quarta parte do livro *O homem e o Universo,* de Arthur Koestler. São Paulo: Ibrasa, 1989, p. 153-293.

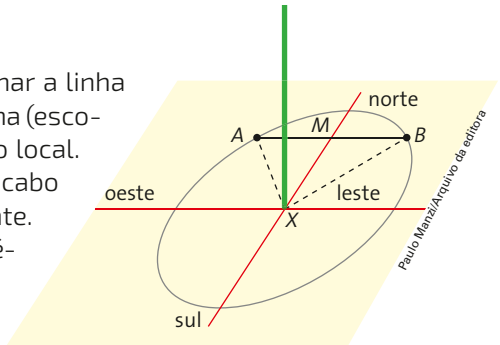
Experimento

Veja comentários sobre este tópico no Manual do Professor.

Determinação da longitude

Nesta atividade experimental, você poderá determinar a linha norte-sul verdadeira que passa por um local de sua escolha (escola, casa, etc.), os outros pontos cardeais e a longitude do local. Para isso, serão necessários um bastão fino (pode ser um cabo de vassoura), giz, uma bússola e cerca de 2,0 m de barbante.

O bastão é comumente chamado de gnômon e esse método para determinação da linha norte-sul aparece descrito no livro *De Architectura*, escrito por Vitruvius (séc. I a.C.).



Representação (sem escala e em cores fantasia) da marcação dos pontos nos instantes em que a sombra toca a circunferência.

Escolha um local que seja iluminado pelo Sol na maior parte do dia. Além disso, esse local deve ser plano e horizontal. Com o giz, faça um pequeno *X* no solo. Nesse ponto você vai fixar o bastão. Se o chão for pavimentado, você pode fixar o bastão em uma lata com terra e depois colocá-la de forma que o bastão fique exatamente sobre o *X*, na posição exatamente vertical. Pendure um pequeno objeto no barbante e utilize-o como fio de prumo para verificar se o bastão está realmente na vertical. Para maior precisão em suas medidas, é interessante que a ponta superior do bastão esteja afunilada (como a ponta de um lápis, por exemplo).

Faça uma marca na extremidade da sombra projetada pelo bastão no solo por volta das 9h da manhã. Não precisa ser exatamente nesse horário, mas algo próximo disso. Retire o bastão e trace, utilizando o barbante, uma circunferência com centro no *X* e com raio um pouco menor do que a distância entre o *X* e a marca que você fez. Reponha então o bastão e espere até que a extremidade da sombra projetada por ele no solo "toque" a circunferência. Nesse momento, marque o ponto *A* em que esse "toque" acontece.

Feito isso, você ainda terá que fazer outra marca no período da tarde, quando novamente a extremidade da sombra tocar a circunferência. Se o primeiro toque aconteceu por volta de 9h, o segundo deverá ocorrer por volta de 15h. Faça então a segunda marca *B*. Com isso, você terá os pontos necessários para traçar a linha norte-sul do local das medidas.

Determine *M*, o ponto médio do segmento $\overline{AB}$. A reta suporte do segmento *MX* é a linha norte-sul do local. A reta perpendicular a $\overline{MX}$, que passa por *X*, é a linha leste-oeste.

Na maior parte do território brasileiro (fora do horário de verão), a hora nacional é a hora de Greenwich menos 3 horas. Quer dizer, quando em Greenwich são 12h, aqui são 9h. Acerte seu relógio pelo horário oficial menos 3h. Agora você está sincronizado com o horário de Greenwich. Verifique exatamente em que instante a sombra projetada pelo gnômon cai exatamente sobre a linha norte-sul e anote o que marca o seu relógio (horas, minutos e segundos). Em termos locais, esse é o exato meio-dia.

1. Geralmente, o norte indicado pela bússola não é exatamente o norte geográfico. Considerando que o processo que você utilizou para determinar o norte geográfico proporciona boa precisão, compare-o com o indicado por uma bússola. Qual a diferença? Não se assuste. No território brasileiro essa diferença pode ser maior do que 20°, variando de local para local e um pouco ao longo dos anos. No *site* do Observatório Nacional você pode obter essa diferença, chamada de declinação magnética. Utilize o *link* a seguir para verificar a declinação magnética de sua cidade: <http://extranet.on.br/jlkm/magdec/index.html> (acesso em: set. 2015).
2. Transforme a hora em que a sombra cai exatamente sobre a linha norte-sul para a forma decimal. Por exemplo, se seu relógio marcava 3h15min, então você terá 3,25h.
3. Tomando-se a Terra como referência, o Sol dá uma volta completa ao redor dela em 24 h, isto é, a cada hora, o Sol "anda" 15°. Utilizando uma regra de três, determine a longitude do local de seu gnômon. Compare com o valor que consta dos mapas. Qual a diferença?
4. Se o meio-dia local de uma cidade ocorre quando o relógio de Greenwich indica exatamente 15h, qual é a longitude desse local?

Retomando

15. (Enem) Na linha de uma tradição antiga, o astrônomo grego Ptolomeu (90-168 d.C.) afirmou a tese do geocentrismo, segundo a qual a Terra seria o centro do Universo, sendo que o Sol, a Lua e os planetas girariam em seu redor em órbitas circulares.

A teoria de Ptolomeu resolvia de modo razoável os problemas astronômicos da sua época. Vários séculos mais tarde, o clérigo e astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543), ao encontrar inexatidões na teoria de Ptolomeu, formulou a teoria do heliocentrismo, segundo a qual o Sol deveria ser considerado o centro do Universo, com a Terra, a Lua e os planetas girando circularmente em torno dele. Por fim, o astrônomo e matemático alemão Johannes Kepler (1571-1630), depois de estudar o planeta Marte por cerca de trinta anos, verificou que a sua órbita é elíptica. Esse resultado generalizou-se para os demais planetas.

A respeito dos estudiosos citados no texto, é correto afirmar que:

a) Ptolomeu apresentou as ideias mais valiosas, por serem mais antigas e tradicionais.

b) Copérnico desenvolveu a teoria do heliocentrismo inspirado no contexto político do rei Sol.

c) Copérnico viveu em uma época em que a pesquisa científica era livre e amplamente incentivada pelas autoridades.

d) Kepler estudou o planeta Marte para atender às necessidades de expansão econômica e científica da Alemanha.

x e) Kepler apresentou uma teoria científica que, graças aos métodos aplicados, pôde ser testada e generalizada.

16. (Enem) O ônibus espacial Atlantis foi lançado ao espaço com cinco astronautas a bordo e uma câmara nova, que iria substituir outra danificada por um curto-circuito no telescópio Hubble.

Depois de entrarem em órbita a 560 km de altura, os astronautas se aproximaram do Hubble.

Dois astronautas saíram da Atlantis e se dirigiram ao telescópio.

Ao abrir a porta de acesso, um deles exclamou: "Esse telescópio tem a massa grande, mas o peso é pequeno".



Nasa/Arquivo da editora

Considerando o texto e as leis de Kepler, pode-se afirmar que a frase dita pelo astronauta:

a) se justifica porque o tamanho do telescópio determina a sua massa, enquanto seu pequeno peso decorre da falta de ações da aceleração da gravidade.

b) se justifica ao verificar que a inércia do telescópio é grande comparada à dele próprio, e que o peso do telescópio é pequeno porque a atração gravitacional criada por sua massa era pequena.

c) não se justifica, porque a avaliação da massa e do peso de objetos em órbita tem por base as leis de Kepler, que não se aplicam a satélites artificiais.

x d) não se justifica, porque a força peso é a força exercida pela gravidade terrestre, nesse caso sobre o telescópio, e é a responsável por manter o próprio telescópio em órbita.

e) não se justifica, pois a ação da força peso implica a ação de uma força de reação contrária, que não existe naquele ambiente. A massa do telescópio poderia ser avaliada simplesmente pelo seu volume.

17. (Unigranrio) Um grupo de pesquisa de Astronomia envia um veículo explorador a um planeta *P*. Sabe-se que, no planeta Terra, o peso deste veículo é igual a 2 500 N. Determine, aproximadamente, a aceleração devido à gravidade em *P* a uma altura de $2{,}00 \cdot 10^6$ m acima da superfície do planeta *P*. Dados: raio do planeta $P = 3{,}00 \cdot 10^6$ m; massa de $P = 6{,}00 \cdot 10^{23}$ kg; considere a constante gravitacional $G = 6{,}70 \cdot 10^{-11}\ N \cdot m^2/kg^2$; $g = 10\ m/s^2$.

x a) 1,61 m/s²;
b) 2,80 m/s²;
c) 4,30 m/s²;
d) 6,70 m/s²;
e) 7,98 m/s².

Oferta e consumo de energia

A energia se tornou um dos principais constituintes do mundo moderno. Não há como desvincular o desenvolvimento econômico de um país e, consequentemente, o padrão de vida da sua população, da disponibilidade e do uso racional da energia.

Comparando o consumo de energia ao longo da História, conforme mostra o gráfico, observamos um consumo constante até o século XIX e um crescimento exponencial a partir do século XX.

Esse crescimento acentuado está relacionado à explosão populacional e ao aumento do consumo de energia *per capita*, como mostram as tabelas a seguir.

Em 1979, o professor José Goldemberg, em seu artigo "Energia: há o suficiente para todos?", discute o ponto fundamental em relação ao consumo de energia.

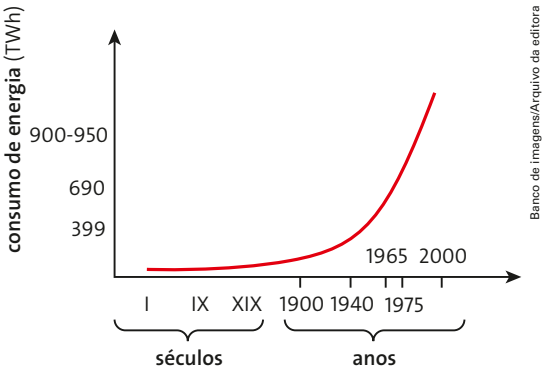
> Enquanto cada habitante de Bangladesh consome, em média, 2 300 quilocalorias por dia, cada cidadão dos Estados Unidos consome, em média, 243 000 quilocalorias por dia. No caso específico do Brasil, temos um consumo médio *per capita* de 23 000 quilocalorias por dia. Estamos bem abaixo da média mundial de 42 500 quilocalorias por dia. Estudos publicados em 1971 estabeleceram em 31 000 quilocalorias por dia o consumo de energia *per capita* suficiente para garantir a toda a população mundial um nível de vida adequado. Devemos observar que o consumo suficiente está abaixo da média mundial, mas o grande problema é a distribuição de energia. Enquanto os países industrializados, onde vivem 25% da população mundial, consomem 69% do total, os demais países, onde vivem 75% da população, consomem 31% do total de energia. Somente os Estados Unidos, com 6% da população mundial, consomem 30% da energia mundial.

Fonte de pesquisa: GOLDEMBERG, José. "Energia: há o suficiente para todos?". Disponível em: <www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol01a05.pdf>. Acesso em: out. 2015.

No *site* <www.iea.org>, a Agência Internacional de Energia (AIE) nos informa que:

> [...] *É um fato alarmante que hoje – no século 21 – bilhões de pessoas não têm acesso aos serviços de energia mais básicos: 1,3 bilhão de pessoas não têm acesso à energia elétrica em todo o mundo e 2,7 bilhões de pessoas dependem do uso tradicional da biomassa para cozinhar. Falta de acesso a serviços modernos de energia é um sério obstáculo para o desenvolvimento econômico e social e deve ser superada desde que as Metas de Desenvolvimento do Milênio (ODM) sejam alcançadas.*

Consumo de energia ao longo dos tempos



Fonte de pesquisa: ACIOLI, José de Lima. *Fontes de energia*. Brasília: Ed. da UnB, Brasília, 1994.

População mundial em diversas épocas

Ano	População mundial
4000 a.C.	80 milhões
1500 d.C.	450 milhões
1800 d.C.	900 milhões
2015 d.C.	7,2 bilhões

Fonte: José Goldemberg e Luz Dondero Villanueva. *Energia, meio ambiente & desenvolvimento*. 2. ed. rev. São Paulo: Edusp, 2003.

Consumo diário de calorias em diversas épocas

Estágio de desenvolvimento	Época (aproximada)	Consumo diário em quilocalorias
humano primitivo	1 milhão de anos atrás	2 000
humano agrícola primitivo	5000 a.C.	12 000
humano agrícola avançado	1400 d.C.	20 000
humano industrial	final do século XIX	77 000
humano tecnológico	2000 d.C.	230 000

Fonte: José Goldemberg e Luz Dondero Villanueva. *Energia, meio ambiente & desenvolvimento*. 2. ed. rev. São Paulo: Edusp, 2003.

Particularmente em relação à situação brasileira, temos que, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN-2015), publicado pelo Ministério de Minas e Energia do Brasil (Disponível em: <ben.epe.gov.br>. Acesso em: out. 2015.), em 2014, a Oferta Interna de Energia (OIE) – total de energia demandada no país – atingiu 305,6 Mtep (Mtep = milhões de toneladas equivalentes de petróleo). Levando-se em conta uma população estimada da ordem de 202,8 milhões de habitantes (IBGE-2014), a OIE foi de 1,5 tep por habitante, valor que se situa abaixo da média mundial de 1,7 tep/hab. É importante ressaltar que a participação de fontes renováveis na Matriz Energética Brasileira atingiu em 2014 cerca de 39%, mantendo-se entre as mais elevadas do mundo.

Trabalho com o texto

1. Considerando que 1 tep (tonelada equivalente de petróleo) é igual a 10^{10} cal e 1 cal = 4 J, determine a oferta interna de energia no Brasil, em 2014, em joule.
2. Suponha que o consumo mensal de energia elétrica de uma residência seja de 200 kWh. Se toda a OIE no Brasil, em 2012, fosse utilizada para abastecer residências do tipo descrito, qual o número de residências que seriam atendidas durante 1 ano? Considere 1 kWh = $3{,}6 \cdot 10^6$ J.
3. De acordo com o professor José Goldemberg, qual era, em 1979, a porcentagem de consumo médio diário de energia dos brasileiros em relação à média mundial?

Pesquise e discuta

4. Pesquise as fontes de energia utilizadas pelo ser humano em cada estágio de desenvolvimento e faça a associação da tabela 1 com a tabela 2.

Tabela 1

Ordem	Estágio de desenvolvimento
A	humano primitivo
B	humano agrícola primitivo
C	humano agrícola avançado
D	humano industrial
E	humano tecnológico

Tabela 2

I. Queima da madeira para cozinhar os alimentos e obter calor.
II. O consumo de energia inclui gastos com alimentação, moradia, comércio, indústria, agricultura, transporte, lazer, etc.
III. Utilização do carvão para aquecimento, da força da água, do vento e do transporte animal.
IV. Sem o uso do fogo, os habitantes dispunham apenas da energia dos alimentos que ingeriam.
V. Com a Revolução Industrial, o homem passou a utilizar as máquinas a vapor.

5. Pesquise a quantidade mínima de energia, em quilocalorias, que uma pessoa necessita para sobreviver e realizar atividades básicas.
6. Pesquise as possíveis causas que justificam os dados da AIE em relação ao uso de energia pela população mundial.
7. Quais são as vantagens de se utilizar uma matriz energética constituída, na maior parte, de fontes renováveis?
8. Qual é a relação entre fontes de energia (renováveis e não renováveis) e emissão de CO_2 (gás carbônico)?
9. Pesquise o que os países industrializados têm feito em relação ao "desenvolvimento sustentável".

UNIDADE 4

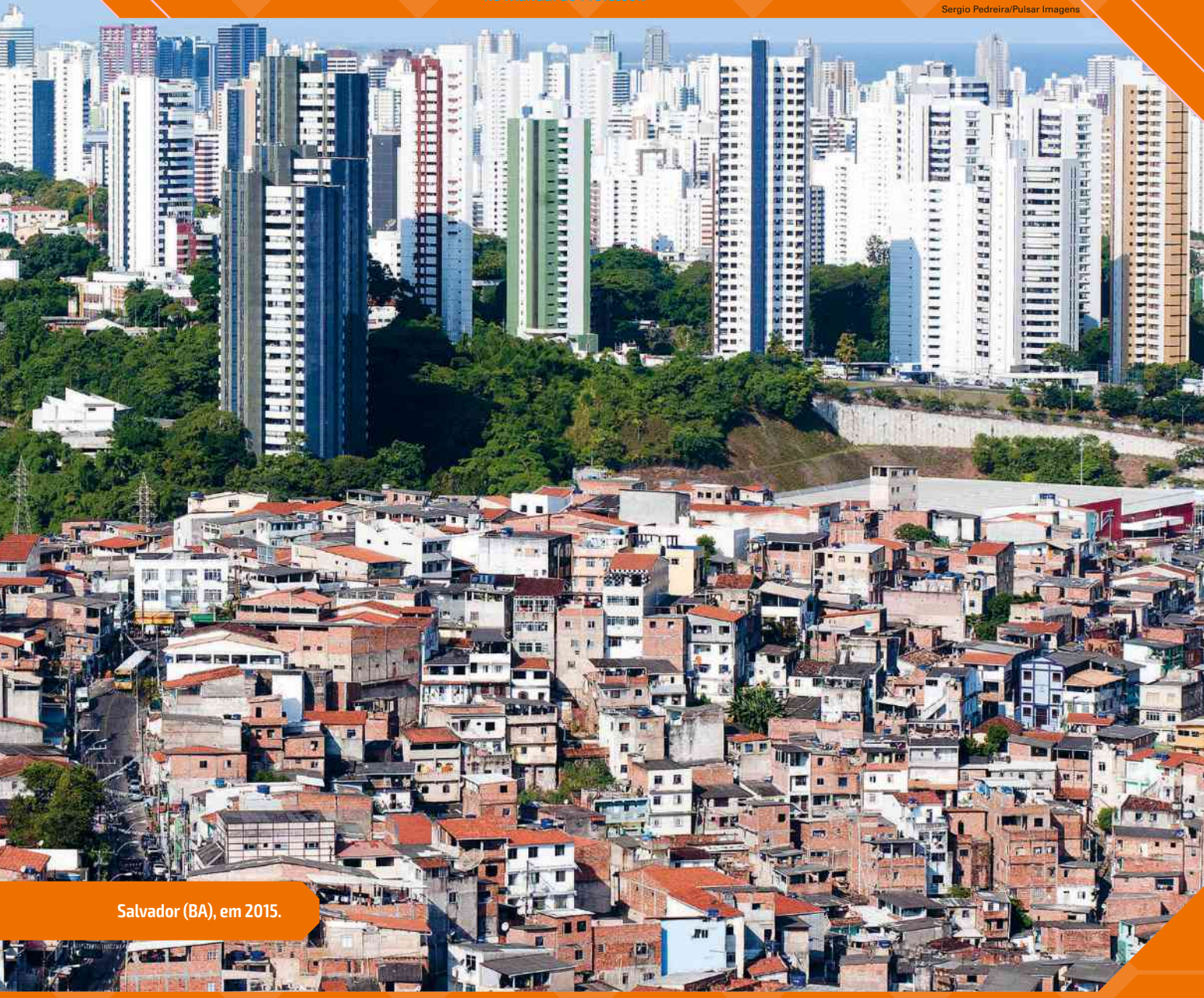
O ser humano e as máquinas

CAPÍTULO 10

Estática dos corpos rígidos – Máquinas simples

Veja orientações e sugestões de encaminhamento dos assuntos deste capítulo no Manual do Professor.

Sergio Pedreira/Pulsar Imagens



Salvador (BA), em 2015.

Motivado pelo espírito de sobrevivência e dotado da capacidade de aprendizagem, o ser humano criou, ao longo de vários milhões de anos, dispositivos com os quais podia enfrentar as adversidades. Como o ser humano resolveu o problema de proteger-se das tempestades e abrigar seus filhos? O progresso tecnológico proporcionou técnicas para construções duráveis e estéticas. Apesar disso, parcela considerável da população vive em condições precárias de habitação. Você é capaz de apontar três razões para esse fato?

a



9comeback/Shutterstock

b



Sukpaiboonwat/Shutterstock

Figura 10.1 Em determinadas situações, uma barra longa (**a**) e uma chapa fina (**b**) podem ser consideradas, respectivamente, um corpo linear e um corpo plano.

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

1 O equilíbrio do corpo rígido

Sob a ação de forças, todos os corpos se deformam. No estudo da Estática, que trata do equilíbrio de corpo rígidos, as deformações sofridas pelos corpos são desprezíveis em relação a suas dimensões iniciais. É para efeito de simplificação que os corpos são considerados indeformáveis, ou seja, rígidos.

Antes de analisarmos o funcionamento de diversos utensílios comuns no dia a dia, vamos estudar alguns aspectos teóricos que serão fundamentais para essa análise.

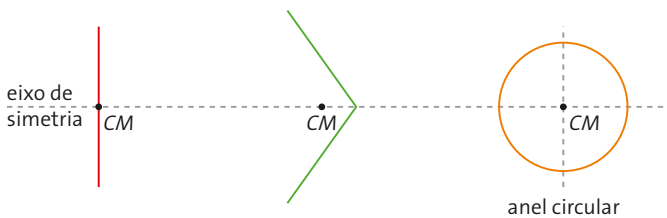
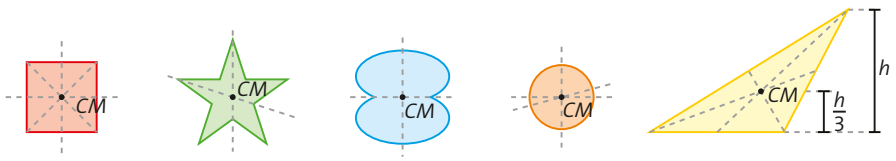
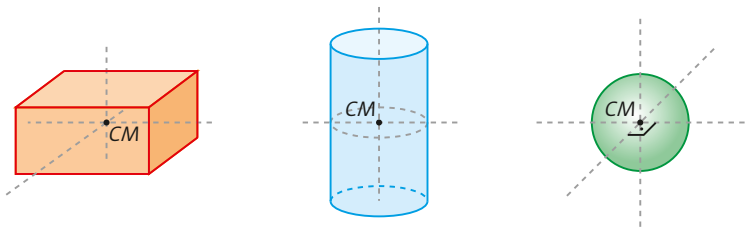
Para muitos fenômenos no campo da Mecânica, um sistema constituído por vários pontos materiais pode ser representado por um único ponto material que lhe seja equivalente – o **centro de massa (*CM*)** do sistema.

Em um sistema formado por dois pontos materiais de mesma massa, o centro de massa localiza-se no ponto médio entre eles. Assim, os dois pontos são simétricos em relação ao centro de massa. Se um corpo homogêneo possui eixo (ou plano) de simetria, o centro de massa pertence a esse eixo (ou plano). No caso de corpos homogêneos com mais de um eixo de simetria, o centro de massa se localiza na interseção desses eixos (**tabela 10.1**).

Todos os corpos são tridimensionais. Contudo, há situações em que uma das dimensões é predominante. No caso de um pedaço de arame ou uma longa barra de aço, por exemplo, podemos representá-los simplesmente por uma linha (**figura 10.1.a**). São os **corpos lineares**.

Há também o caso de chapas planas, com espessura muito menor que suas outras dimensões (**figura 10.1.b**). Para simplificar seu estudo, esses corpos são representados por **figuras planas**.

Tabela 10.1 Posição do centro de massa de alguns corpos homogêneos

Corpos lineares	
Corpos planos	
Corpos sólidos	

Ilustrações: Banco de imagens/Arquivo da editora

No caso de corpos planos triangulares, as medianas de um triângulo não são eixos de simetria, mas um segmento de reta que une um dos vértices do triângulo com o ponto médio do lado oposto desse vértice (figura 10.2). O centro de massa de um triângulo é o ponto de encontro entre as três medianas.

Devemos observar que o centro de massa de um objeto sólido (corpo rígido) não se localiza, obrigatoriamente, dentro de sua parte sólida. Como exemplo, podemos citar uma barra em *U* (figura 10.3). O centro de massa dessa barra não se localiza na parte sólida.

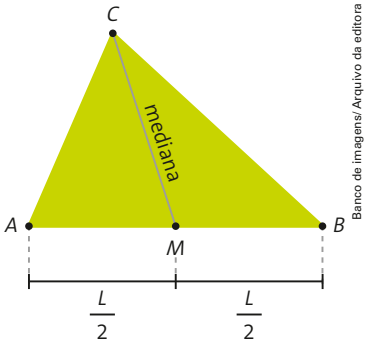


Figura 10.2 No lado oposto do vértice da mediana, temos segmentos de mesma medida – situação análoga ao que ocorre com os eixos de simetria.

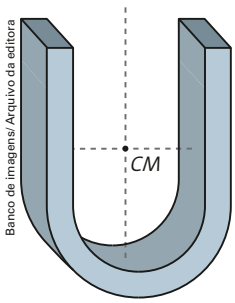


Figura 10.3 Representação do centro de massa *CM* de uma barra em *U*.

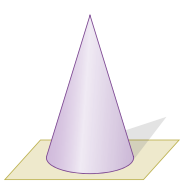
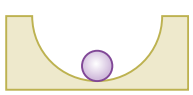
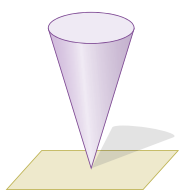
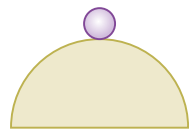
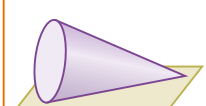
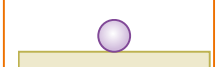
Observação: O chamado **centro de gravidade** é o ponto em que podemos imaginar que esteja concentrado todo o **peso** do corpo. No caso de um campo gravitacional uniforme, esse ponto coincide com o **centro de massa**, e podemos utilizar todas as propriedades do centro de massa para analisar o equilíbrio do corpo.

Tipos de equilíbrio

As diferentes situações de equilíbrio em que um corpo pode se encontrar podem ser classificadas em três tipos básicos (a tabela 10.2 ilustra essas três possibilidades):

- **Equilíbrio estável** – Situação em que qualquer pequeno deslocamento (angular ou linear) sofrido pelo corpo resulta em tendência de retorno à posição de equilíbrio inicial.
- **Equilíbrio instável** – Nessa situação, qualquer pequeno deslocamento resulta em tendência de continuar tombando ou se afastando dessa posição.
- **Equilíbrio indiferente** – Situação em que qualquer pequeno deslocamento resulta em uma nova situação também de equilíbrio.

Tabela 10.2 Tipos de equilíbrio

Estável		Instável		Indiferente	
					

Banco de imagens/ Arquivo da editora

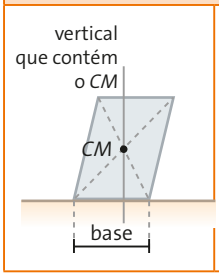
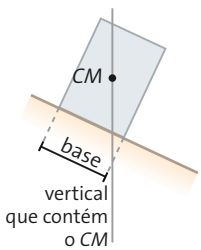
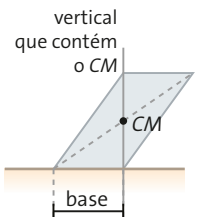
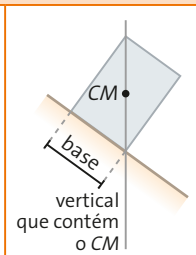
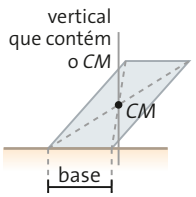
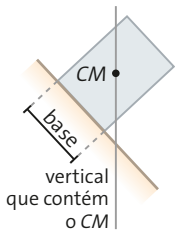
Corpos simplesmente apoiados

Um corpo simplesmente apoiado fica sob a ação de somente duas forças: a força aplicada pelo apoio e a força peso.

Para que esse corpo esteja em equilíbrio, essas duas forças devem estar na mesma direção, mas com sentidos opostos. Como a força aplicada pelo apoio se localiza na base do corpo e deve ter mesma direção que a força peso, a reta vertical que contém o centro da gravidade do corpo deve passar pela base de apoio para que ele não tombe.

A tabela 10.3 mostra alguns corpos apoiados.

Tabela 10.3 Possibilidades de equilíbrio para corpos simplesmente apoiados

A vertical que contém o *CM* passa pela base de apoio. O corpo não tomba.		A vertical que contém o *CM* passa pela extremidade da base de apoio. O corpo está na iminência de tombar.		A vertical que contém o *CM* não passa pela base de apoio. O corpo tomba.	
					

Ilustrações: Banco de imagens/Arquivo da editora

As imagens desta página não estão representadas em proporção.

A estrutura do arranjo experimental da figura 10.4.a é deformável; enquanto o fio de prumo estiver apontando para um ponto pertencente à base, a estrutura não irá tombar. Na figura 10.4.b temos uma aplicação do equilíbrio de corpos simplesmente apoiados: são as torres Kio, localizadas em Madri, que formam a chamada "Porta da Europa". Os prédios têm inclinação de 15° e, além disso, uma pesada e adequada estrutura subterrânea para garantir o equilíbrio.

Acervo do autor/Arquivo da editora



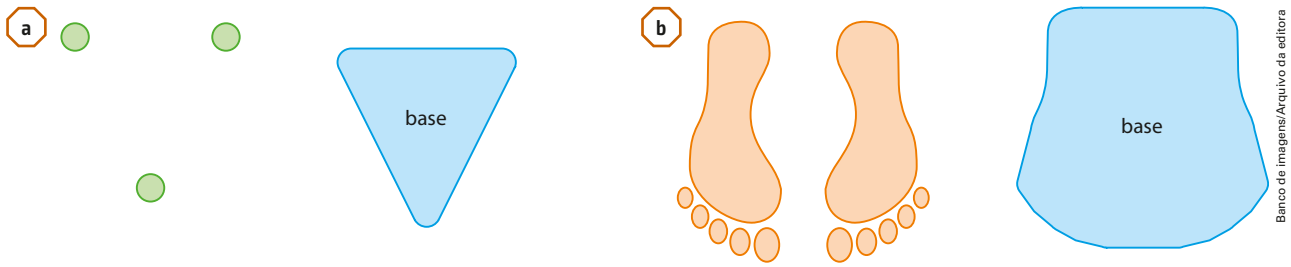


Bennett Dean/Eye Ubiquitous/Corbis/Latinstock

Figura 10.4 Estrutura articulada com o objetivo de analisar as condições de equilíbrio (**a**). "Porta da Europa", Madri, Espanha, 2014: os prédios aparentam estar na iminência de tombar (**b**).

Quando um corpo possui mais de uma região de apoio, consideramos como base a menor superfície convexa que contenha todas essas regiões. A figura 10.5 mostra a base de uma mesa com três pés e de uma pessoa descalça.

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 10.5 Base de uma mesa com três regiões de apoio (**a**). Base de uma pessoa apoiada nos dois pés (**b**).

A figura 10.6 apresenta diversas situações de equilíbrio.

Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

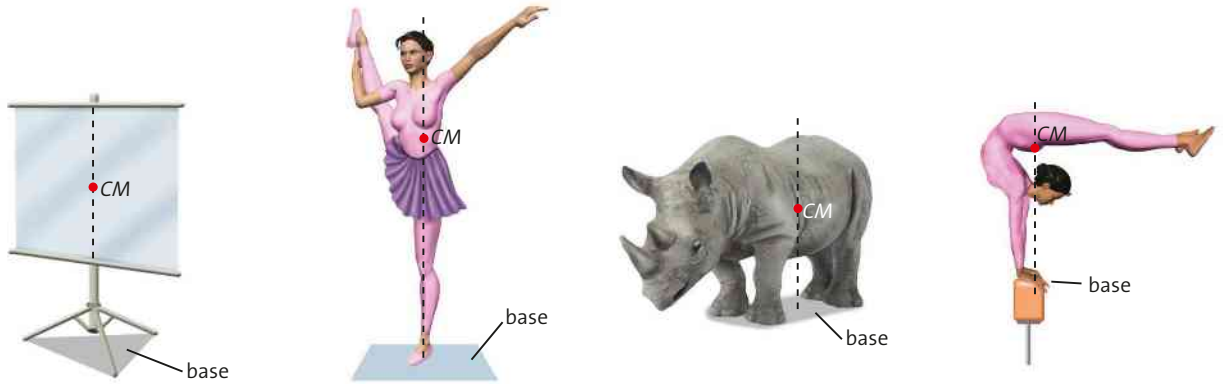


Figura 10.6 A vertical que contém o *CM* passa pela base do corpo.

Momento de uma força

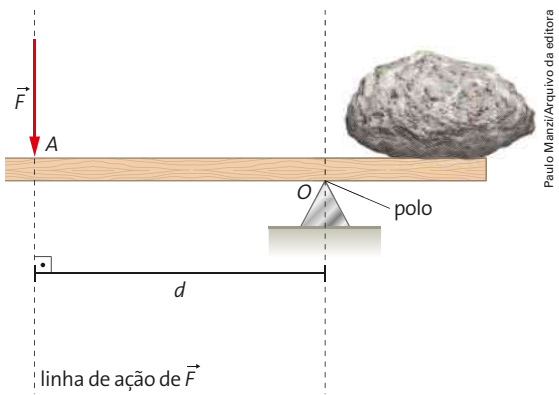
No Capítulo 8 foi discutido o momento (ou torque) de uma força ou de um sistema de forças, no contexto da conservação do movimento de rotação (inércia rotacional). Vejamos, agora, esse assunto com mais detalhes.

Consideremos um sistema, como na figura 10.7, em que uma força de intensidade F é aplicada no ponto A de uma barra que pode girar livremente em torno do ponto O (polo).

A tendência de rotação que a força $\vec{F}$ produz na barra, em relação ao ponto O (polo), é chamada de momento da força $\vec{F}$ em relação a esse ponto. A intensidade dessa tendência à rotação é dada por:

$$M = F \cdot d$$

Nessa expressão, F é a intensidade da força e d é a distância da linha de ação da força ao eixo de rotação. A distância d recebe o nome de **braço da força**.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 10.7 Representação de um sistema em que a força $\vec{F}$ aplicada em uma barra pode girar livremente. Observe a linha de ação da força em relação ao ponto *O*.

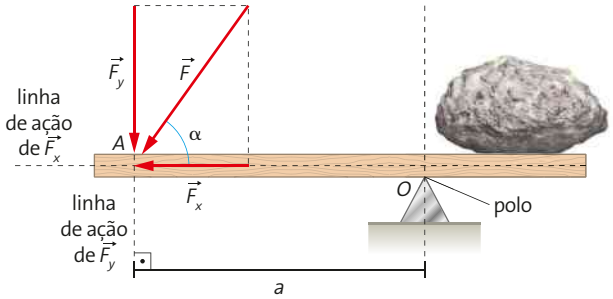


Figura 10.8 Decomposição da força para determinar o seu momento.

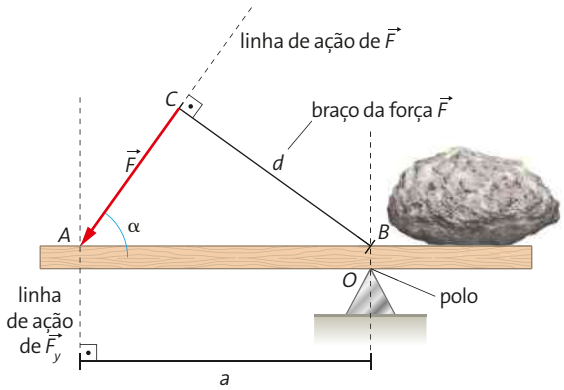


Figura 10.9 Obtenção do braço (*d*) da força $\vec{F}$.

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

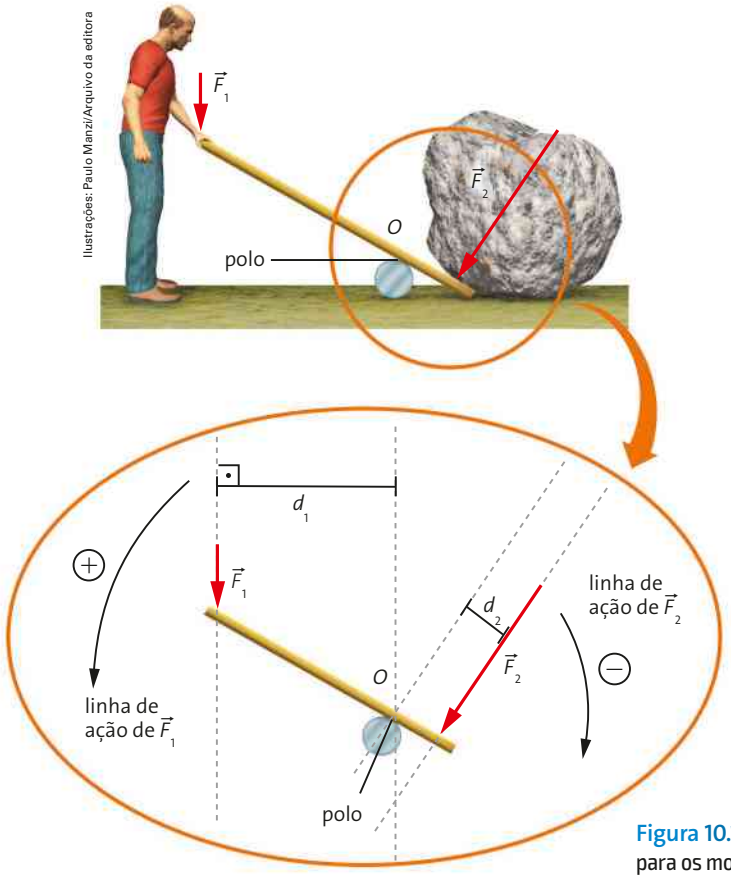


Figura 10.10 Convenção de sinais para os momentos das forças.

No caso de uma força que não seja perpendicular ao segmento de reta que une o ponto de aplicação da força ao polo, podemos calcular o momento dessa força de duas maneiras: decompondo a força ou calculando a medida do seu braço.

- Decompondo a força, temos a **figura 10.8**:
  Nesse diagrama, observamos que a distância entre o ponto *O* e a linha de ação da componente F_x é nula. Portanto, em relação ao ponto *O*, a componente F_x não produz tendência de rotação na barra, ou seja, $M_x = 0$.
  $F_x = F \cdot \cos \alpha$
  $F_y = F \cdot \operatorname{sen} \alpha$
  $M_F = M_x + M_y \Rightarrow M_F = 0 + F_y \cdot a \Rightarrow$
  $\Rightarrow M_F = 0 + (F \cdot \operatorname{sen} \alpha) \cdot a \Rightarrow M_F = F \cdot a \cdot \operatorname{sen} \alpha$
- Calculando a medida do braço da força (verifique a equivalência entre esse processo e o anterior), obtemos, do triângulo *ABC* (**figura 10.9**):
  $M_F = F \cdot d$
  No triângulo retângulo *ABC*, temos:
  $d = a \cdot \operatorname{sen} \alpha$
  Portanto:
  $M_F = F \cdot a \cdot \operatorname{sen} \alpha$

Vejamos agora algumas importantes considerações sobre o momento de uma força:

Para aplicarmos as condições de equilíbrio de rotação é necessário adotarmos uma convenção de sinais para momentos. Os esquemas da **figura 10.10** ilustram como ficam as expressões algébricas para o cálculo dos momentos de uma das forças coplanares $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ em relação ao polo *O*.

Temos que:

$M_{F1} = F_1 \cdot d_1 > 0$ e $M_{F2} = F_2 \cdot d_2 < 0$

O momento resultante de um sistema de forças, em relação a um polo, é obtido pela soma algébrica dos momentos de cada uma das forças, em relação a esse mesmo polo ($M_R = \Sigma M$).

Quando um corpo rígido, sujeito à ação simultânea de várias forças, encontra-se em **equilíbrio**, temos as seguintes condições (**as duas devem ser satisfeitas**):

$$\begin{cases} \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots + \vec{F}_n = \vec{0} \rightarrow \text{Equilíbrio translacional (centro de massa em repouso ou em MRU).} \\ M_1 + M_2 + \ldots + M_n = 0 \rightarrow \text{Equilíbrio rotacional (repouso ou rotação uniforme).} \end{cases}$$

Se for escolhido arbitrariamente um polo para o cálculo dos momentos, as duas condições serão satisfeitas; então o somatório dos momentos será nulo em relação a qualquer outro polo.

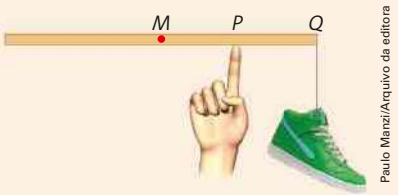
A figura 10.11 mostra um arranjo experimental utilizado para verificar que, no equilíbrio, o somatório dos momentos é nulo. Observe que a barra graduada pela sequência alternada de cores está em equilíbrio (indicado pelo ponteiro abaixo da barra). As duas massas, uma colocada a uma distância $2d$ do centro da barra e a outra colocada a uma distância $10d$, têm o somatório dos momentos (devidos aos pesos dos corpos) em relação ao centro da barra igual a zero.


Acervo do autor/Arquivo da editora

Figura 10.11 Barra em equilíbrio sob a ação de dois pesos diferentes e a força aplicada pelo apoio central.

Exercício resolvido

Agnaldo dispõe de um tênis velho e um cabo de vassoura com 1,60 m de comprimento; ele verificou em uma balança precisa que a massa do tênis (incluindo o cadarço) e a do cabo de vassoura são iguais.
Ele, então, mostra que é capaz de segurar o conjunto formado pelo tênis amarrado à extremidade do cabo de vassoura com apenas um dedo, conforme ilustra a figura a seguir (sem escala e em cores fantasia). O cabo de vassoura pode ser considerado um cilindro homogêneo, cujo centro de massa é o ponto *M*.

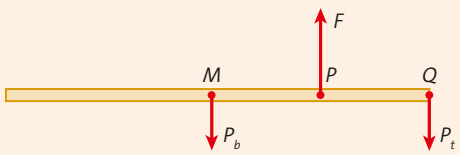


Paulo Manzi/Arquivo da editora

a) Como o cabo de vassoura pode ficar em equilíbrio se só há um objeto dependurado à direita do dedo de Agnaldo?
b) Se o peso do tênis é de 2 N, qual é a força que o estudante aplica no cabo de vassoura?
c) Qual é a abscissa do centro de massa do sistema tênis-cabo, considerando o ponto *M* como origem do eixo das abscissas orientado para a direita?

Resolução:

a) À esquerda do dedo de Agnaldo está o centro de massa do cabo, no qual podemos considerar concentrada a força peso desse objeto. Dessa forma, analisando as forças que agem no cabo, podemos fazer o diagrama seguinte.



b) Como o somatório das forças é nulo, temos:
$F - P_b - P_t = 0 \Rightarrow F - 2 - 2 = 0 \Rightarrow F = 4\ \text{N}$

c) A abscissa do centro de massa, com a referência proposta, é:

$$X_{CM} = \frac{M_1 \cdot X_1 + M_2 \cdot X_2}{M_1 + M_2}$$

$$X_{CM} = \frac{2 \cdot 0 + 2 \cdot 0{,}8}{2 + 2} \Rightarrow X_{CM} = 0{,}4\ \text{m}$$

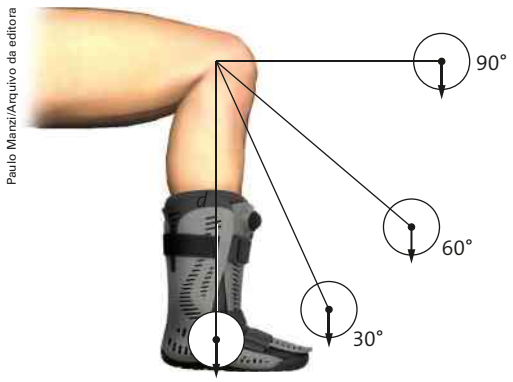
É nessa abscissa que o estudante está sustentando o sistema.

Exercícios

1. a) Módulo do momento da força peso da bota é máximo na posição 90° e mínimo na posição 0°.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

1. Para um tratamento de uma lesão no joelho, uma pessoa, orientada por um fisioterapeuta, realiza um exercício com uma bota de 20 N, conforme mostra a figura.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

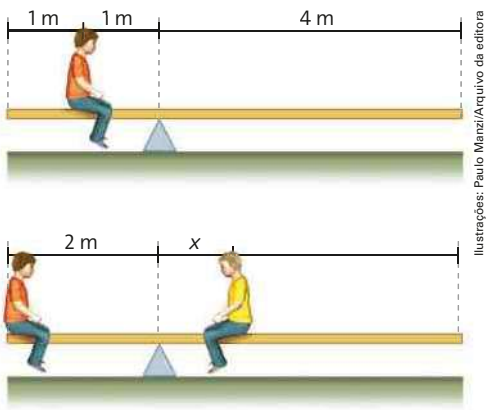
Partindo da posição vertical, com o pé apoiado no solo, a pessoa levanta a perna até atingir a posição 90°, na qual a perna fica na horizontal.

a) Para qual posição mostrada na figura o módulo do momento da força peso da bota, em relação ao centro articular do joelho, é máximo? E mínimo?

b) Sendo a distância *d*, entre o centro de gravidade da bota e o centro articular do joelho, igual a 40 cm, calcule o módulo desse momento para a posição 60° indicada na figura. $M = 7{,}0\ \text{N} \cdot \text{m}$

2. Pedro construiu uma engenhosa gangorra na qual ele pode brincar sozinho ou com algum colega. A tábua usada por ele é uniforme e pesa 60 N em cada metro linear.

As figuras seguintes ilustram as duas situações. Na primeira, Pedro está em equilíbrio na gangorra, sozinho; na segunda, um colega com massa igual à dele está do outro lado, e o sistema também está em equilíbrio.



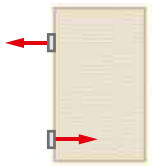
Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

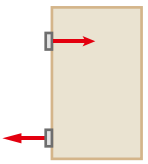
a) Qual é a massa de Pedro? $m = 36\ \text{kg}$

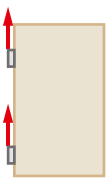
b) Qual é a distância entre o pivô da gangorra e o colega de Pedro, na segunda situação? $x = 1\ \text{m}$

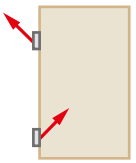
3. (Enem) O mecanismo que permite articular uma porta (de um móvel ou de acesso) é a dobradiça. Normalmente, são necessárias duas ou mais dobradiças para que a porta seja fixada no móvel ou no portal, permanecendo em equilíbrio e podendo ser articulada com facilidade.

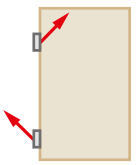
No plano, o diagrama vetorial das forças que as dobradiças exercem na porta está representado em:

a)


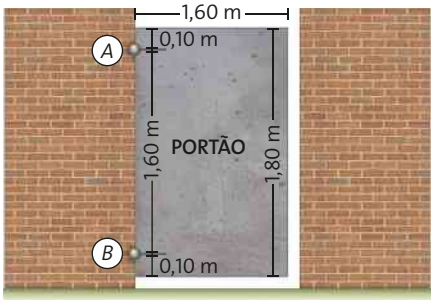
b)


c)


X d)


e)


4. (EsPCEx-RJ) Um portão maciço e homogêneo de 1,60 m de largura e 1,80 m de comprimento, pesando 800 N, está fixado em um muro por meio das dobradiças *A*, situada a 0,10 m abaixo do topo do portão, e *B*, situada a 0,10 m de sua parte inferior. A distância entre as dobradiças é de 1,60 m conforme o desenho abaixo. Elas têm peso e dimensões desprezíveis, e cada dobradiça suporta uma força cujo módulo da componente vertical é metade do peso do portão. Considerando que o portão está em equilíbrio, e que o seu centro de gravidade está localizado em seu centro geométrico, o módulo da componente horizontal da força em cada dobradiça "A" e "B" vale, respectivamente:



Paulo Manzi/Arquivo da editora

desenho ilustrativo – fora de escala

a) 130 N e 135 N.
b) 135 N e 135 N.
X c) 400 N e 400 N.
d) 450 N e 450 N.
e) 600 N e 650 N.

2 Máquinas simples

Veja comentários sobre este tópico no Manual do Professor.

Estamos tão habituados a utilizar uma tesoura, um alicate, um abridor de garrafas, um carrinho de mão, uma pinça ou uma simples vassoura que, às vezes, temos a impressão de que eles sempre existiram. A origem de muitas das ferramentas que usamos hoje coincide com a própria origem da espécie humana.

Coleção Stapleton, Londres/ foto: The Bridgeman Art Library/Keystone



O ser humano precisou desenvolver ferramentas para a sua sobrevivência. *Coleta de água no rio Nilo*. Gravura de Nicolas Jacques, 1822.

Física tem História

Na chamada Revolução Agrícola, iniciada há cerca de 10 mil anos, provavelmente na região de Jericó, junto ao mar Morto, "a principal ferramenta de escavação era um pedaço de pau com a extremidade afiada e endurecida ao fogo. Esse pedaço de pau figura entre as invenções fundamentais na história da raça humana – mais importante que o trator – e serviu aos lavradores em várias partes do mundo por milhares de anos", diz o historiador Geoffrey Blainey (1930-), em *Uma breve história do mundo* (São Paulo: Fundamento, 2008).

A invenção da roda, provavelmente em 4000 a.C., na Mesopotâmia, foi um dos passos mais importantes no desenvolvimento da civilização. A sua importância é tão grande que alguns historiadores ousam dizer que a roda é a máquina simples que pode ser considerada a origem da Mecânica.

No Egito, na época dos faraós, por volta de 3000 a.C., já se usavam as alavancas na captação das águas do rio Nilo. Nas construções das grandes pirâmides, os egípcios, além das alavancas, usavam também a rampa e o guindaste.

E o que dizer da tesoura, do alicate, da pinça e do quebra-nozes, que nada mais são do que modalidades de alavancas, cujas diferenças estão na localização do ponto de apoio?

Os primeiros registros históricos de um objeto com as características de uma tesoura datam de 1500 a.C., no Egito. Por volta do ano 100 d.C. as tesouras, com o formato atual de lâminas, eram usadas pelos romanos para cortar cabelos e tecidos, tosquiar animais e podar árvores. A partir de 1750, com as lâminas de aço, sua popularidade cresceu rapidamente.

A invenção do alicate remonta a 2000 a.C. Construído, inicialmente, para trabalhos com o ferro em fundições, o alicate tornou-se, em nossos dias, uma das ferramentas mais versáteis que o ser humano utiliza nas tarefas diárias.

Acredita-se que a pinça, como instrumento cirúrgico, tenha sido fabricada desde a Antiguidade. Na Grécia e em Roma, médicos desenvolveram vários instrumentos, como o bisturi, o fórceps e a pinça, a partir do bronze, do ferro e da prata.

Em relação ao quebra-nozes, um estudo realizado em 2006 por uma equipe de pesquisadores luso-japonesa na floresta de Bossou, na Guiné-Conakry, levou à descoberta de um quebra-nozes, constituído por quatro elementos de pedra, um complexo objeto construído por chimpanzés selvagens. Segundo esses cientistas, essa descoberta confirma "as semelhanças entre as ferramentas de pedra criadas pelos chimpanzés e os artefatos de pedra usados pelos primeiros hominídeos, há 2,5 a 2,6 milhões de anos".

CIÊNCIA Hoje. Investigadora portuguesa descobre quebra-nozes complexo feito por chimpanzés, Lisboa, 29/5/2008.

Trabalho em equipe

Veja sugestões e respostas no Manual do Professor.

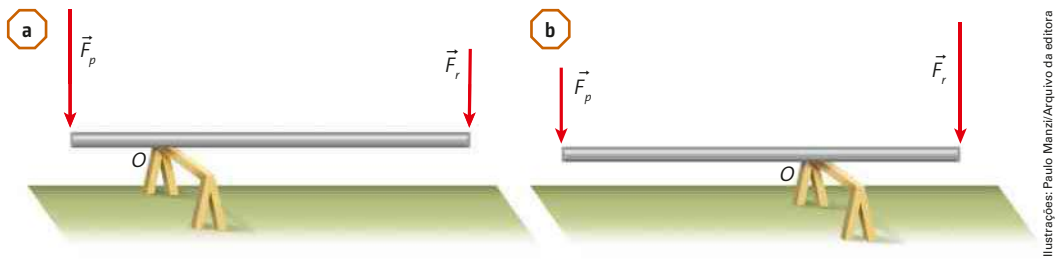
Reúna-se em um grupo de três a cinco colegas, sob orientação do professor, e discutam as seguintes questões:

1. Qual a finalidade das primeiras ferramentas inventadas pelo ser humano?
2. Qual o papel das ferramentas na manutenção da vida do ser humano?
3. Há alguma relação entre o aparecimento das ferramentas e a evolução da espécie humana?

Alavancas

De modo bem abrangente, qualquer objeto que nos auxilie na realização das tarefas em geral pode ser considerado uma máquina. Sob esse ponto de vista, nossos braços ou nossas pernas também são máquinas.

A alavanca é uma das máquinas simples mais antigas. Trata-se de um dispositivo constituído de uma barra rígida que pode girar em torno de um ponto fixo. A alavanca apresenta três pontos básicos: entrada, onde é aplicada a força potente $\vec{F}_p$; apoio (ponto fixo), chamado de pivô ou polo *O*; e saída, onde está aplicada a força resistente $\vec{F}_R$. Em geral, a posição do ponto de apoio (pivô *O*) determina se a alavanca é multiplicadora de força ou de movimento, conforme mostra a figura 10.12.



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 10.12 Representação (sem escala e em cores fantasia) de uma alavanca multiplicadora: de movimento (**a**); e de força (**b**).

Para a classificação das alavancas, observamos qual é a ação em seu ponto intermediário – o pivô –, a força potente ou a força resistente. Por essa razão, o nome de cada uma das três classes começa sempre com "inter".

No estudo dos três tipos de alavanca, apresentados a seguir, não levaremos em conta o peso da alavanca.

Alavanca interfixa

Na figura 10.13.a, o operador equilibra o corpo de peso *P* com o uso de uma alavanca de peso desprezível. Observe, pela posição da mão do operador, que a força por ele aplicada é para baixo. As forças que agem nessa alavanca são as representadas na figura 10.13.b.

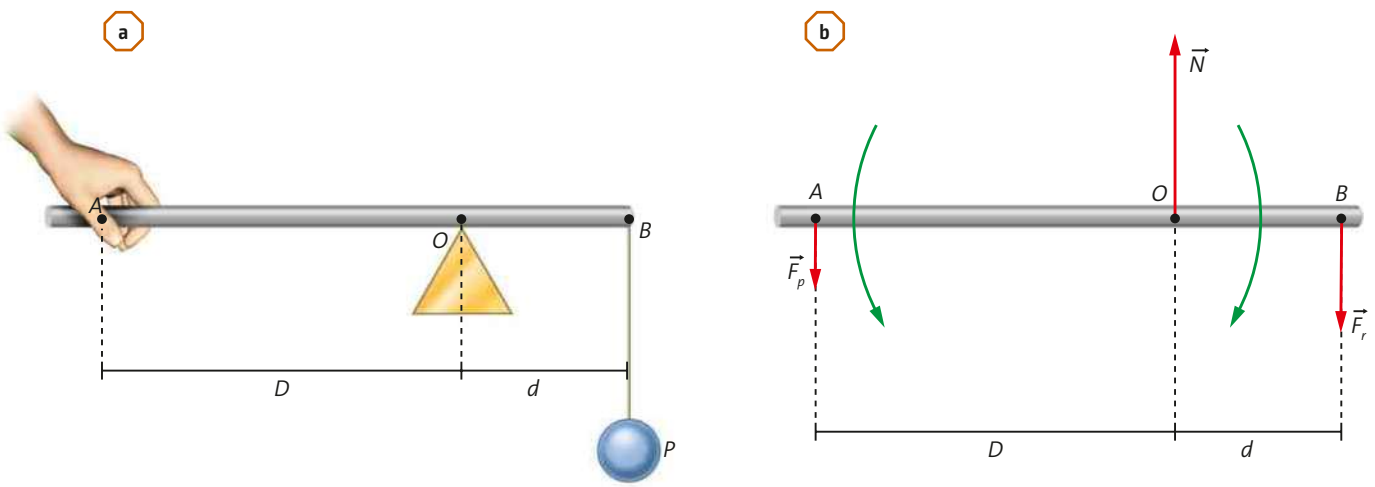


Figura 10.13 Ação do operador em uma alavanca interfixa (**a**). Esquema das forças e a tendência de rotação que cada uma provoca (**b**).

Considerando o sistema em equilíbrio, vamos calcular os momentos em relação ao polo *O* (pivô).

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow F_p \cdot D - F_r \cdot d = 0$$

Como a resultante é nula, temos: $N = F_p + F_r$; portanto, a força no pivô é a de maior intensidade. Por essa razão, o ponto de apoio desse tipo de alavanca deve ser bastante resistente, pois é o ponto sujeito ao maior esforço. Da expressão acima, obtemos:

$$F_p \cdot D = F_r \cdot d$$

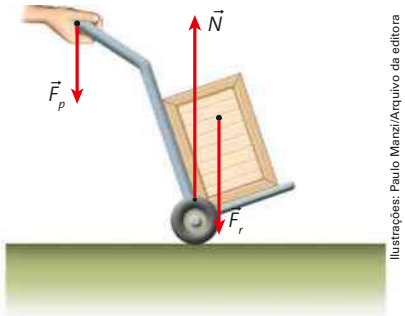
Esse arranjo, com o pivô entre as extremidades da alavanca, é utilizado em várias ferramentas domésticas simples, como o alicate (figura 10.14) e a tesoura (figura 10.15). Um tipo de carrinho para transporte de cargas também é um exemplo de utilização desse arranjo (figura 10.16).



Figura 10.14 Alicate: o braço potente é bem maior que o resistente.



Figura 10.15 Tesoura: cada braço resistente tem uma lâmina afiada para facilitar o corte e diminuir o esforço do operador.



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 10.16 Representação das forças que agem no carrinho de cargas: o operador segura o carrinho com um esforço menor que o peso da carga a ser transportada.

Alavanca inter-resistente

Vamos agora considerar outro arranjo para os elementos da alavanca. Na figura 10.17, a força resistente está em um ponto intermediário. O pivô está em uma das extremidades e o operador age na extremidade oposta.

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

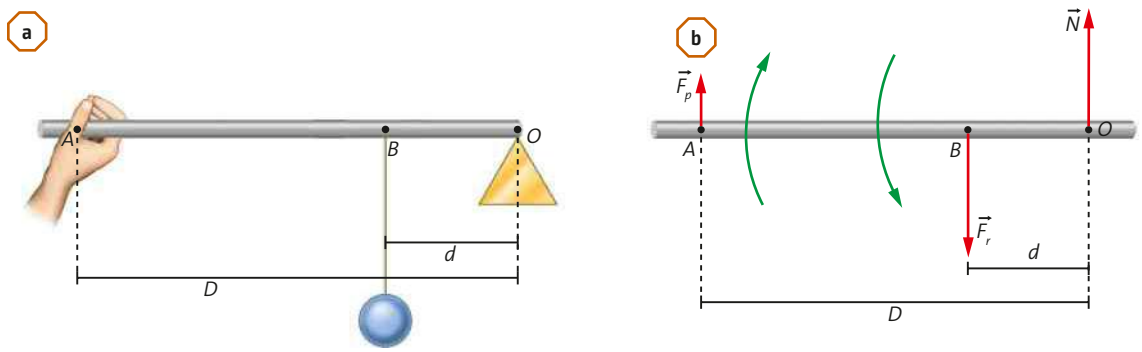


Figura 10.17 Ação do operador (**a**) e esquema de forças em uma alavanca inter-resistente (**b**).

A força aplicada pelo operador é dirigida para cima (observe a posição da mão do operador na figura 10.17.a). O esquema de forças está representado na figura 10.17.b.

Fazendo o cálculo dos momentos em relação ao polo *O*, temos:

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow F_p \cdot D - F_r \cdot d = 0 \Rightarrow F_p \cdot D = F_r \cdot d$$

Entre as ferramentas domésticas nas quais se utiliza esse arranjo multiplicador de forças, temos o quebra-nozes (figura 10.18) e o abridor de garrafas (figura 10.19).

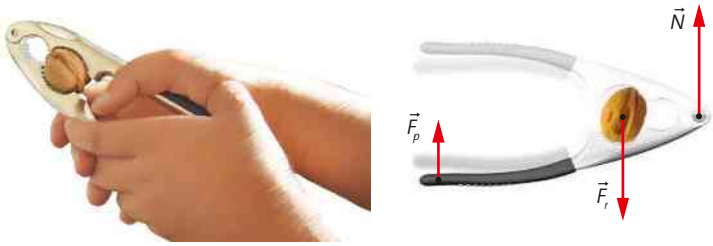
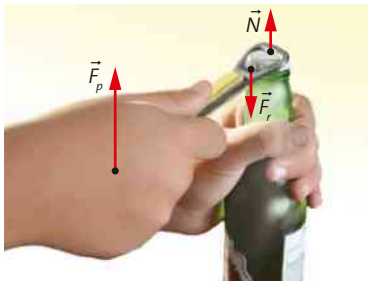


Figura 10.18 Quebra-nozes e representação das forças que agem na sua metade inferior.

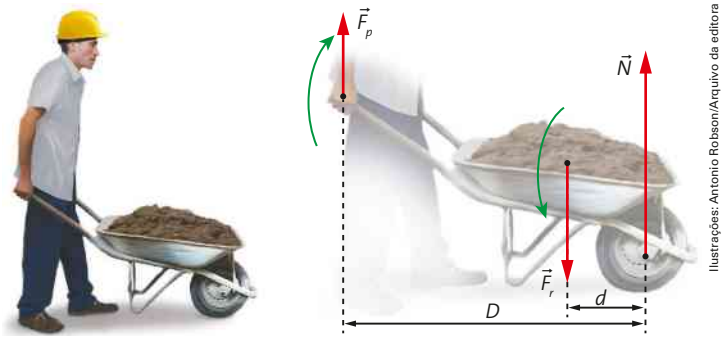


Ilustrações: Antonio Robson/Arquivo da editora

Figura 10.19 Abridor de garrafas e representação das forças que agem nele.

O carrinho de mão, comum em construção civil, é montado segundo esse mesmo arranjo, facilitando o transporte de material pesado (figura 10.20).

As imagens destas páginas estão representadas sem escala e em cores fantasia.

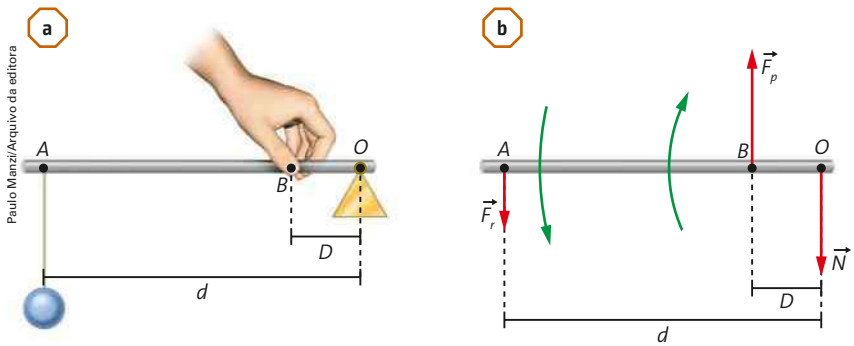


Ilustrações: Antonio Robson/Arquivo da editora

Figura 10.20 A força que o operador aplica é menor do que o peso que o carrinho transporta.

Alavanca interpotente

Existe também a possibilidade de o operador aplicar a força potente entre os extremos da alavanca. A figura 10.21 ilustra a posição em que age o operador e as forças atuantes na alavanca.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 10.21 Ação do operador (**a**) e esquema das forças em uma alavanca interpotente (**b**).

O cálculo do somatório dos momentos em relação ao polo *O* fornece:

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow F_p \cdot D - F_r \cdot d = 0 \Rightarrow F_p \cdot D = F_r \cdot d$$

Vantagem mecânica

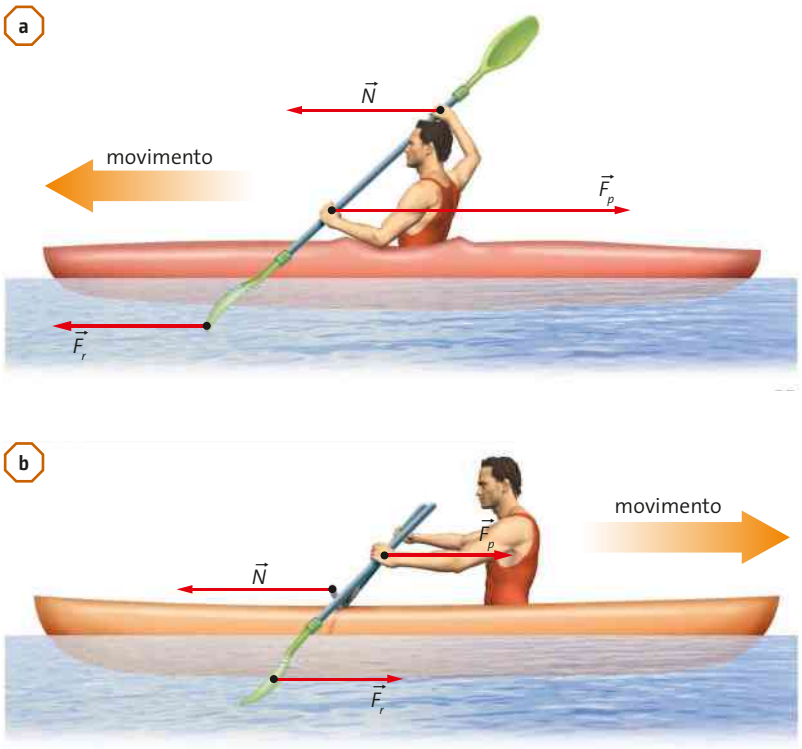
A **vantagem mecânica** é definida como:

$$\beta = \frac{F_r}{F_p} = \frac{D}{d}$$

Na alavanca interpotente, $d > D$; logo, $\beta < 1$, isto é: $F_p > F_r$.

A força aplicada pelo operador é, então, mais intensa do que a força que ele obtém no extremo da alavanca. Qual é o ganho?

Esse arranjo é útil quando queremos obter ganho no deslocamento, embora isso signifique uma perda na força. A vassoura (figura 10.22), a pinça (figura 10.23) e o remo (figura 10.24) são exemplos de ferramentas em que há utilização de alavancas interpotentes.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 10.24 No remo do caiaque (**a**): do ponto de vista da alavanca (remo), o braço esquerdo exerce a força potente, o braço direito é o apoio e a extremidade posta na água exerce a força resistente; mas, do ponto de vista do barco, a força propulsora é a reação à $\vec{F}_p$ interpotente, enquanto a força resistente da água é inter-resistente. No remo comum (**b**): do ponto de vista do remo, o braço exerce a força potente, a alça em forma de Y é o apoio e a água exerce a força resistente, mas a força propulsora do barco é a reação à força $\vec{N}$.

Um instrumento simples e de grande utilidade no dia a dia é o cortador de unhas (figura 10.25). Nele, a parte inclinada é uma alavanca inter-resistente que vai acionar a lâmina horizontal, que, por sua vez, é uma alavanca interpotente.



Antonio Robson/Arquivo da editora

Figura 10.22 A vassoura e a representação das forças que nela agem durante sua operação. A mão que está na extremidade superior faz o papel de pivô.



Antonio Robson/Arquivo da editora

Figura 10.23 A pinça é uma alavanca interpotente.



Dainis/Shutterstock/Glow Images

Figura 10.25 Cortador de unhas. Alavanca inter-resistente (inclinada) acionando uma interpotente (horizontal).

Exercícios

5. b) Desprezando-se o peso da barra que constitui a alavanca, o módulo da força aplicada (F_p) por Pedro é menor do que o módulo da força peso (P_c) das cargas.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

O texto a seguir refere-se às questões 5 e 6.
Pedro e Mateus se exercitam em uma academia sob a orientação de um professor. Cada um possui uma ficha de treino em que estão especificados o aparelho a ser utilizado e a carga, em kg, com o objetivo de se obter o melhor aproveitamento dos exercícios.

5. Pedro utiliza o aparelho mostrado na figura abaixo com uma carga de 10 kg em cada lado.

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.



Antonio Robson/Arquivo da editora

a) Que tipo de alavanca corresponde ao aparelho acima? Por quê? Alavanca interfixa.
b) A força total exercida pelos braços de Pedro é maior, menor ou igual à carga total do exercício? Justifique sua resposta.

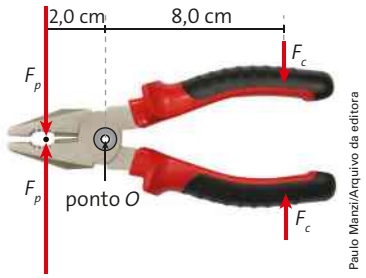
6. Considere que Mateus utiliza o aparelho a seguir com uma carga de 5,0 kg em cada lado.



Antonio Robson/Arquivo da editora

a) Qual é o tipo de alavanca do aparelho acima? Explique. Alavanca inter-resistente.
b) A força exercida por Mateus é maior, menor ou igual à carga total do exercício? Justifique sua resposta. Desprezando-se o peso da barra que constitui a alavanca, o módulo da força aplicada (F_p) por Mateus é menor do que o módulo da força peso (P_c) das cargas.

7. A figura seguinte ilustra um alicate no qual uma pessoa aplica as forças de mesma intensidade $F_c = 200$ N nos pontos dos cabos assinalados, tentando cortar um fio.

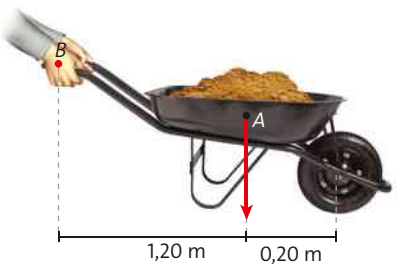


Paulo Manzi/Arquivo da editora

No fio que o operador está tentando cortar, as forças que agem têm intensidade F_p. $M_c = 16$ N · m

a) Em relação à articulação do alicate (ponto O) qual é a intensidade do torque da força F_c?
b) Qual é a intensidade da força F_p que age no fio? $F = 800$ N

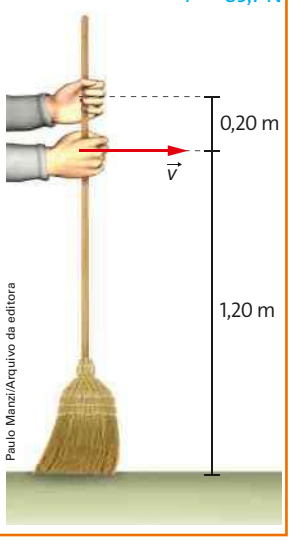
8. A figura seguinte representa um carrinho de jardinagem sendo empurrado por um trabalhador. O peso do conjunto carrinho-terra é de 1200 N e pode ser imaginado como se estivesse concentrado no ponto A.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Considerando as dimensões apresentadas na figura, qual é a intensidade da força que cada um dos braços do trabalhador deve aplicar às extremidades dos cabos B para que o carrinho fique em equilíbrio? $F = 85{,}7$ N

9. Diego resolve auxiliar sua mãe varrendo as folhas caídas no quintal. Para isso, ele utiliza uma vassoura e coloca suas mãos conforme indica a figura ao lado (sem escala e em cores fantasia). Considerando que sua mão esquerda esteja parada e que a direita esteja se movendo com velocidade de 20 km/h, qual é a velocidade da extremidade inferior da vassoura sobre o solo? 140 km/h



Paulo Manzi/Arquivo da editora

3 Alavancas do corpo humano

Veja comentários sobre este tópico no Manual do Professor.

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

Em toda a estrutura do corpo humano existem dispositivos análogos aos fios (tendões), às alavancas (ossos) e aos fornecedores da força potente (os músculos).

Observe na **figura 10.26** a ação do músculo bíceps.

Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

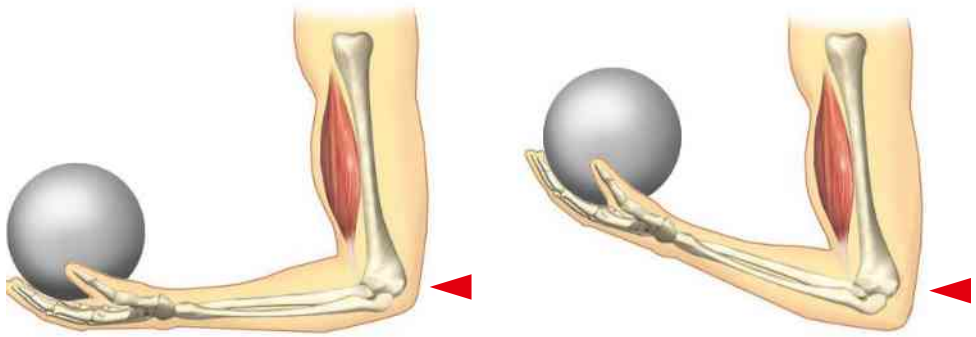


Figura 10.26 Antebraço trabalhando como alavanca interpotente. A ponta de seta vermelha destaca o pivô da alavanca.

Considerando os ossos do antebraço como alavanca, vemos que o pivô é o cotovelo e próximo dele vai agir o tendão, tracionado pelo músculo (bíceps).

Vamos imaginar agora que o mesmo indivíduo do exemplo anterior quisesse erguer a bola de ferro com o dorso da mão, conforme indica a **figura 10.27**.



Figura 10.27 Braço sustentando uma bola de ferro com o dorso da mão usando o antebraço como alavanca interfixa.

Nesse caso, o cotovelo faz o papel de pivô e o tríceps, músculo oposto ao bíceps, é o responsável pela força potente. A alavanca é então interfixa. Como a distância da força potente ao pivô é muito menor do que no caso anterior, essa tarefa é bem mais difícil. Isto é, somos mais "fortes" para fechar o antebraço do que para abri-lo.

Em geral, para todos os nossos movimentos, dispomos de (pelo menos) dois músculos conjugados – um para abrir, outro para fechar. Um para inclinar a cabeça para a direita, outro para a esquerda.

Sob tensão, uma pessoa tem a tendência de retesar todos os músculos, o que provoca ações contrárias. O resultado é a fadiga muscular, decorrente da intercompetição.

Veja resposta no Manual do Professor.

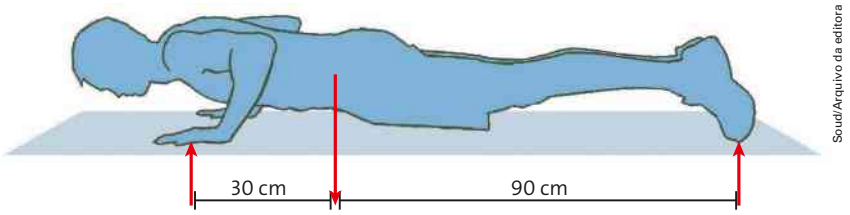
Para refletir

Explique quais são os músculos envolvidos no chute de uma bola.

10. b) Deslocando o *CM* para trás, aumenta a vantagem mecânica, ou seja, aproximando o tronco dos pés, dobrando os joelhos.

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

10. Um atleta, cujo peso é 600 N, está fazendo flexões apoiado no solo. No instante considerado na figura (sem escala), ele está em repouso e tanto a força do solo sobre seus pés, de módulo F_P, quanto a força do solo sobre suas mãos, de módulo F_M, são verticais.
Suponha que o peso $\vec{P}$ do atleta atue em seu centro de massa, com linha de ação a 90 cm de distância de seus pés, e que suas mãos estejam a 120 cm de seus pés, como indica a figura.



Soud/Arquivo da editora

a) Na situação apresentada, quais são as intensidades das forças F_P e F_M? $F_P = 150$ N e $F_M = 450$ N.
b) Como o atleta poderia reduzir a força F_M sem encostar no solo?
c) Considerando o movimento de subida, qual é o músculo no braço (bíceps ou tríceps) que está se contraindo? Tríceps.

11. (UnB-DF) Em certos animais, e em particular no homem, os músculos são ligados aos diferentes ossos por tendões, denominados pontos de inserção ou ligamentos. No caso do braço humano, o cotovelo funciona como um ponto de articulação entre o braço e o antebraço, e os movimentos de flexão e extensão são realizados pelos músculos bíceps e tríceps, respectivamente. Sabe-se, também, que apesar de chimpanzés adultos terem uma massa muscular três vezes menor que a de um homem adulto, eles são duas vezes mais fortes em alguns movimentos, em especial naqueles relacionados à flexão dos braços. Essa diferença de desempenho está relacionada com a anatomia do braço dos dois animais. As figuras abaixo ilustram os pontos principais da anatomia do braço humano, em que d_1, d_2 e d_3 são, respectivamente, as distâncias do cotovelo ao ligamento do bíceps, do cotovelo ao centro de massa do braço (*CM*) e do cotovelo ao centro de massa de um objeto de massa *m* segurado pela mão. Ainda nessas figuras, $\vec{F}_M$ é a força exercida pelo bíceps, $\vec{F}_{CM}$ é a força peso do braço e $\vec{F}_m$ é a força peso do objeto de massa *m*.

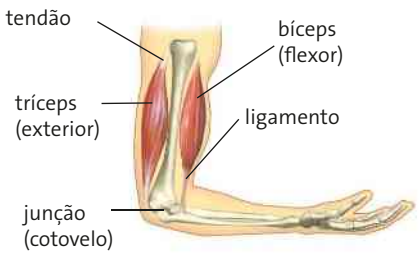


Figura I

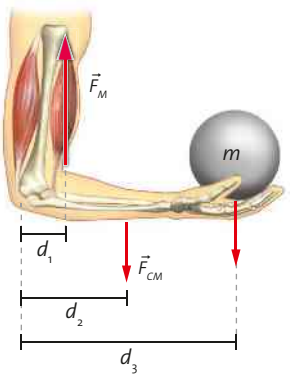


Figura II

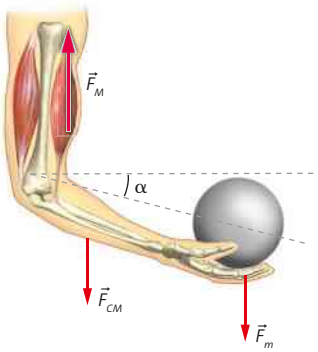


Ilustração: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura III

Com base nas informações e nas figuras acima, julgue os itens que se seguem.

1. Para manter o objeto fixo na posição mostrada na figura II, desprezando-se o peso do braço, a força exercida pelo bíceps no braço é diretamente proporcional à razão $\frac{d_1}{d_3}$.
2. A diferença de desempenho entre o homem e o chimpanzé poderia ser explicada se fosse admitido que d_1 para o chimpanzé é menor que d_1 para o homem.
3. A razão entre os módulos dos torques exercidos pelo bíceps em relação ao cotovelo nas situações mostradas nas figuras III e II, respectivamente, é igual a sen(α). As três afirmativas são incorretas.

Veja comentários e respostas desta seção no Manual do Professor.

Pontes

As aplicações das leis da estática estão presentes tanto em estruturas milenares, como os aquedutos de Roma, por exemplo, quanto em construções atuais. Os primórdios da engenharia registram pontes apoiadas em pontos. Com o advento dos resistentes cabos de aço, estruturas mais leves e arquitetonicamente diferentes, surgiram as chamadas pontes pênseis. Além disso, estruturas que misturam esses dois modelos também ganharam espaço, à medida que novos materiais e técnicas de cálculos foram desenvolvidos.

As quatro fotografias ao lado ilustram os casos descritos no parágrafo anterior, isto é, uma ponte apoiada, uma mista e duas dependuradas.

Ultimamente, especial atenção tem sido dada às pontes estaiadas, que utilizam grandes colunas como elementos centrais para ancorar os cabos tracionados que sustentam as estruturas intermediárias. A ponte estaiada Octávio Frias de Oliveira é a maior ponte estaiada em curva do mundo. Inaugurada em maio de 2008, a obra tem 138 metros de altura e utilizou aproximadamente 500 toneladas de aço. Os trechos a seguir foram extraídos da entrevista dos engenheiros projetistas da ponte.

> [...]
>
> A tecnologia de ponte estaiada cresceu depois da Segunda Grande Guerra Mundial. Na década de 1950, a Alemanha usava tabuleiro metálico, com poucos estais, pois não havia programas de computador para processar e calcular esse tipo de ponte. Os cálculos matemáticos eram feitos à mão. E eram muito difíceis. Na década de 1960, os Estados Unidos e outros países da Europa entraram nesse processo de construção. O Brasil só foi fazer ponte estaiada na década de 1990.
>
> [...]
>
> Até existe ponte curva na Europa, mas duas pontes curvas, com um mastro só, é a única no mundo.
>
> [...]
>
> A ponte estaiada curva tem cálculo muito complexo. A maioria das obras é reta, porque os estais dão uma componente de força que deve ser absorvida pelo tabuleiro. E quando é curvo, os estais não se equilibram, geram esforços adicionais, que devem ser combatidos internamente pela estrutura. [...]
>
> [Os estais são] tubos, com a bainha que chamamos de invólucro, feitos de polietileno de alta densidade (PHDE), que é para proteger da chuva, do vento e dos raios ultravioleta os cabos que ficam soltos dentro dessa bainha amarela. Os cabos se fixam no mastro e vão até o tabuleiro, para sustentá-lo. [...]

NUNES, Viviane. Ponte estaiada em São Paulo vira referência mundial. Revista *Partes*. 19 dez. 2007. Disponível em: <www.partes.com.br/entrevistas/entrevistadezembro2007.asp>. Acesso em: 5 out. 2015. Adaptado.

1. Em nosso país temos vários tipos de pontes. Considere, por exemplo, a ponte Rio-Niterói. Ela é uma ponte apoiada, dependurada ou mista?

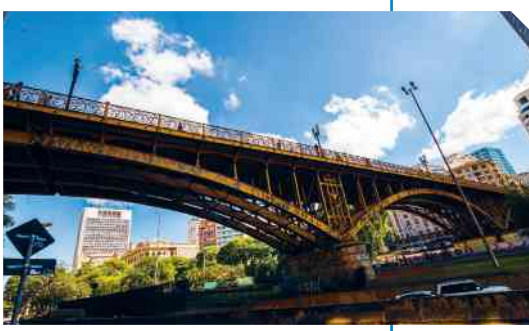
2. Procure pelo menos uma razão pela qual os romanos não tenham optado por pontes dependuradas.

André Horta/Fotoarena



Aquedutos da Carioca, conhecidos como Arcos da Lapa, Rio de Janeiro (RJ), 2015.

Bruno Fernandes/Fotoarena



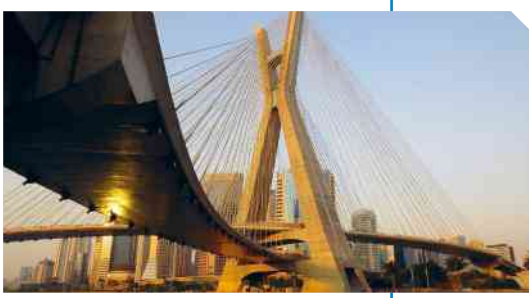
Viaduto Santa Efigênia, São Paulo (SP), 2015.

George Rose/Getty Images



Ponte Golden Gate, em São Francisco, Califórnia (EUA), 2015. Toda a pista rolante é dependurada em cabos de aço, com um cabo principal formando um arco invertido.

T. Fernandes/Fotoarena



Ponte Octávio Frias de Oliveira, conhecida como ponte estaiada, em São Paulo (SP), 2014. A estrutura está dependurada nos cabos retesados.

Em construção

Veja comentários e respostas desta seção no Manual do Professor.

Arquimedes e a coroa do rei Hierão II

Arquimedes é considerado um dos maiores cientistas da Antiguidade. Seu pai, Fídias, era astrônomo.

Arquimedes nasceu em Siracusa, na Sicília, mas estudou em Alexandria com sucessores de Euclides (360 a.C.-295 a.C.), razão pela qual se acredita que ele estivesse muito familiarizado com a mais avançada matemática da época. Antes de regressar à sua cidade natal, inventou um mecanismo que ficou conhecido como parafuso de Arquimedes, uma espécie de máquina para bombear água.

Muitas das informações sobre a vida de Arquimedes e suas obras chegaram até nós por outros autores, como Plutarco, por exemplo, visto que muitos de seus originais se perderam. Há muitas referências a Arquimedes nos escritos de sua época, nem tanto pela alta reputação que ele tinha entre os matemáticos, mas sim pelas suas máquinas de guerra.

Regressou à sua cidade natal, provavelmente por causa das boas relações com o rei de Siracusa, Hierão II (306 a.C.-215 a.C.).



Reprodução/Biblioteca Nacional, Paris, França

Retrato de Arquimedes (277 a.C.-212 a.C.).

Uma das mais famosas histórias sobre Arquimedes relata que Hierão pediu ao seu brilhante amigo para determinar se uma coroa, que havia acabado de receber do ourives, era realmente de ouro, como deveria ser, ou se se tratava de uma liga de prata. Arquimedes foi instruído a realizar a tarefa sem estragar a coroa.

Segundo essa história, ele não imaginava como proceder até que um belo dia, entrando em uma banheira cheia, notou que a água transbordava. Repentinamente ocorreu-lhe que a quantidade de água transbordada era igual, em volume, à parte do corpo nela mergulhada. Raciocinou então que, se mergulhasse a coroa na água, poderia determinar seu volume pela subida do líquido. Poderia mais ainda: comparar esse dado com o volume de um pedaço de ouro de igual peso. Se os volumes fossem iguais, a coroa seria de ouro puro. Se a coroa fosse feita de uma liga de prata (menos densa que o ouro), teria um volume maior.

Entusiasmado com a descoberta, diz a história que Arquimedes pulou para fora da banheira, e, completamente nu, correu pelas ruas de Siracusa até o palácio real aos gritos de "Achei! Achei!". Vale destacar que a nudez não perturbava os gregos daquela época tanto como perturba em nossa cultura atual. Como Arquimedes falava grego, o que disse foi *"Eureka! Eureka!"*. Essa expressão é usada desde então como exclamação apropriada ao anúncio de uma descoberta. A conclusão dessa história é que a coroa incluía certa porcentagem de prata, tendo sido o ourives executado.

1. Qual a origem da habilidade de Arquimedes para formular problemas físicos usando conhecimentos de Geometria?
2. Leia o texto "Arquimedes e a coroa do rei: problemas históricos", de Roberto de Andrade Martins (disponível em: <www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6769/6238>; acesso em: set. 2015), e discuta com seus colegas a possível criação de mitos na ciência.

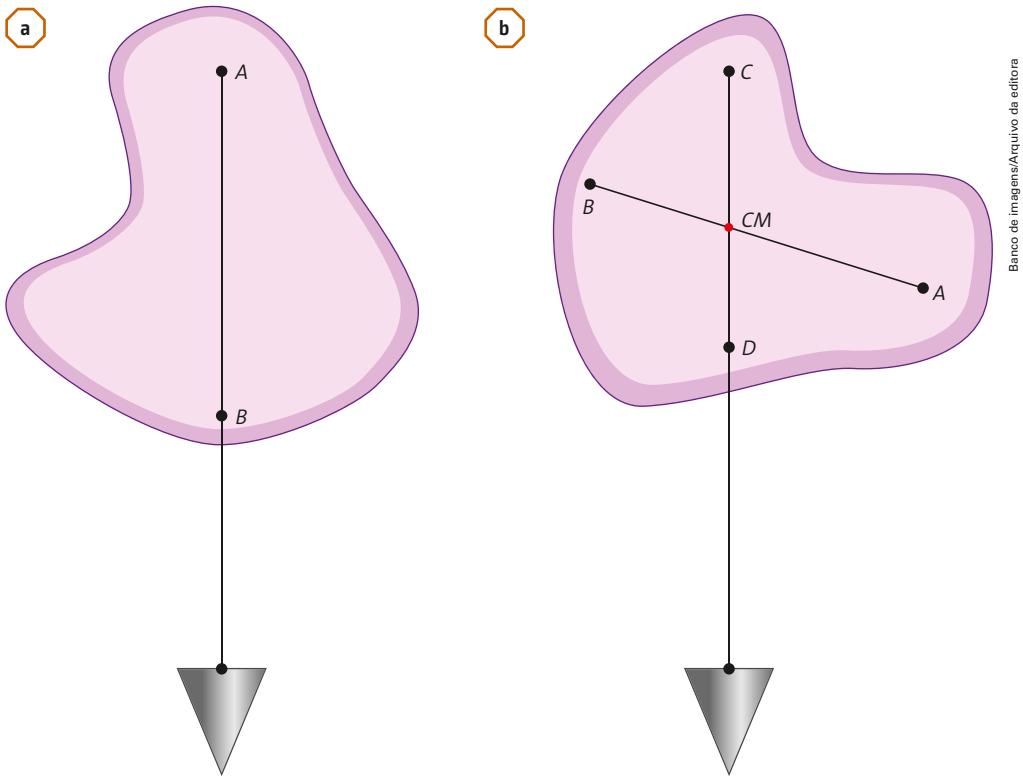
Experimento

Veja comentários e respostas desta seção no Manual do Professor.

Determinação do centro de massa de uma placa

Nesta atividade de observação experimental, você e seu grupo poderão determinar, na prática, a posição do centro de massa de um sistema.

A figura ilustra uma chapa homogênea, porém de forma irregular, perfurada nos pontos *A* e *C*. Ela se encontra dependurada pelo ponto *A* e em equilíbrio. Nessa situação, o ponto de sustentação *A* passa a pertencer à vertical que contém o centro de massa *CM* do corpo. Concluímos que o segmento de reta *AB* – que podemos traçar na própria chapa, usando um fio de prumo como referência – passa necessariamente sobre o *CM* desse corpo.



O centro de massa da chapa está em algum ponto do segmento *AB*. Determinação do *CM* com um fio de prumo. Representação sem escala e em cores fantasia.

Se dependurarmos a chapa pelo ponto *C* (figura **b**), teremos outro segmento (*CD*) cuja intersecção com o segmento *AB* nos dará a posição do *CM*.

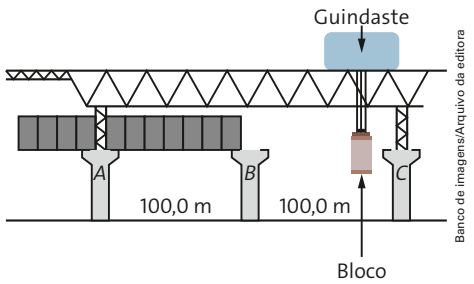
1. Se quisermos equilibrar a placa na ponta de um dedo, em que ponto o dedo deverá ser colocado?
2. Recorte de um pedaço de papelão uma chapa triangular e determine seu *CM* pelo encontro das medianas. Em seguida, use o procedimento descrito para obter o *CM* da chapa irregular no seu triângulo. Os pontos coincidem?
3. Suponha que cada um dos cinco pontos assinalados na chapa, na figura **b**, seja um pequeno furo, e que vamos encaixar um clipe aberto, cada vez em um furo diferente, para fazer a chapa girar chacoalhando a mão. Em quais pontos o procedimento poderá ter sucesso? Por quê?

Retomando

12. (UFSC) A BR-101, também conhecida como Rodovia Translitorânea, faz a ligação do Brasil de norte a sul. Sua duplicação, portanto, é uma obra de grande importância. A construção da nova ponte de Laguna, batizada em homenagem à lagunense Anita Garibaldi, a heroína de dois mundos (América Latina e Europa), faz parte da obra de duplicação dessa rodovia e substituirá a atual ponte de Laguna, a Ponte Henrique Lage, inaugurada em 1º de setembro de 1934. A construção da nova ponte de Laguna e a conclusão da duplicação da rodovia BR-101 darão um grande impulso ao desenvolvimento econômico desta região e, também, ao turismo.

Fonte: Disponível em: <www.pontedelaguna.com.br>. Adaptado. Acesso em: 17 ago. 2014.

O desenho ao lado ilustra o sistema de guindaste usado para suspender os blocos de concreto que darão a base para a pista de rolamento dos veículos. Uma estrutura metálica fica apoiada sobre dois pilares (*A* e *C*), dando suporte ao guindaste que suspende os blocos de concreto, para que sejam fixados aos demais. Vamos admitir que a estrutura metálica possua uma massa de 200 toneladas ($200 \cdot 10^3$ kg), cujo centro de massa esteja a 80 m do pilar *A*, que cada bloco possua uma massa de 10 toneladas e que o guindaste tenha uma massa de 5 toneladas. Adote $g = 10\ m/s^2$.

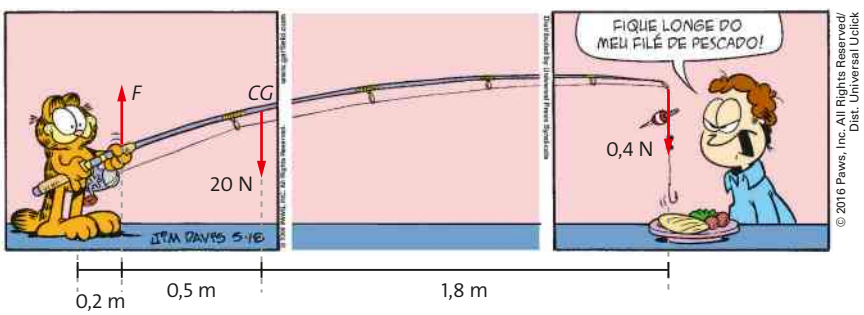


Banco de imagens/Arquivo da editora

Com base nos dados acima, é correto afirmar que: (Dê como resposta a soma dos números correspondentes) Soma: 13

01. Para que todo o sistema (estrutura, guindaste e bloco) esteja em equilíbrio, é necessário que a soma dos momentos seja zero, $\Sigma\vec{M} = 0$, assim como a soma das forças, $\Sigma\vec{F} = 0$.
02. A altura do bloco suspenso pelo guindaste influencia o seu torque em relação ao pilar *A* ou ao pilar *C*.
04. À medida que o guindaste se desloca em direção ao pilar *B*, a força de reação dos pilares *A* e *C* aumenta e diminui, respectivamente.
08. Supondo que o bloco suspenso esteja a 200 m do pilar *C*, as forças de reação nos pilares *A* e *C* são, respectivamente, $121{,}5 \cdot 10^4$ N e $93{,}5 \cdot 10^4$ N.
16. Inserir um novo ponto de sustentação na estrutura do pilar *B* não altera as forças de reação nos pilares *A* e *C*.
32. As forças de reação nos pilares *A* e *C* se alteram durante a subida do bloco, em velocidade constante, pelo guindaste.

13. (IFSP) O quadrinho ao lado mostra Garfield tentando pescar o filé de seu dono com uma vara cuja força peso, de módulo 20 N, está representada em seu centro de gravidade, *CG*. Para conseguir seu almoço, o gato utilizou um fio de náilon de massa desprezível com um anzol e um conjunto de chumbinhos, totalizando 0,4 N de peso, pendurados na ponta.



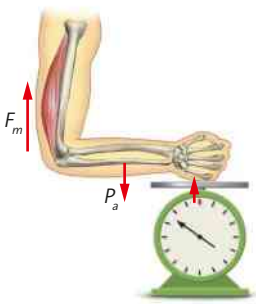
© 2016 Paws, Inc. All Rights Reserved/ Dist. Universal Uclick

Considerando-se as distâncias indicadas na figura, numa situação em que a vara esteja em equilíbrio, sendo segurada pelas duas patas de Garfield, a intensidade da força *F*, em newtons, aplicada pela pata esquerda do gato na vara, é igual a:

X a) 75. b) 65. c) 55. d) 45. e) 35.

14. A figura ilustra (sem escala e em cores fantasia) a mão de uma pessoa comprimindo uma balança com uma força de 100 N. A distância entre o ponto de aplicação da força na balança e o centro articular do cotovelo é 30 cm.

Sendo P_a o peso da mão e do antebraço igual a 40 N e localizado a 15 cm do centro do cotovelo, determine o módulo da força F_m exercida pelo músculo, cujo ponto de aplicação está a 3 cm do centro articular do cotovelo. $F_m = 800$ N



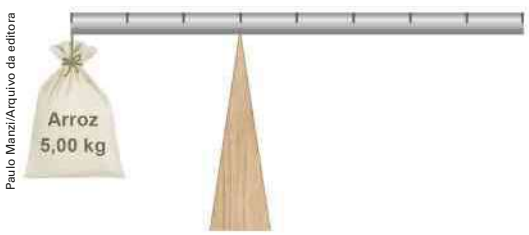
Paulo Manzi/Arquivo da editora

15. (Ufla-MG) Molas, cunhas, rodas e eixos, engrenagem, polia são exemplos de máquinas simples. Esses dispositivos, apesar da simplicidade, possuem grande aplicabilidade.

Toda alavanca possui um ponto fixo no qual o corpo extenso exigido se apoia. Seu princípio de funcionamento consiste da ação de três forças sobre esse corpo rígido: a força fixa (força que o ponto fixo faz sobre o corpo rígido), a força potente (força que a pessoa que utiliza a alavanca faz sobre o corpo rígido) e a força resistente (força que o objeto exerce sobre o corpo rígido). De acordo com o posicionamento dessas forças, ao longo do corpo rígido, as alavancas são denominadas como: interfixa (força fixa atuando entre as outras duas forças), interpotente (força potente atuando entre as outras duas forças) e inter-resistente (força resistente atuando entre as outras duas forças). Assim, são exemplos de alavanca interfixa:

a) tesoura, espremedor de alho, quebra-nozes.
X b) alicate, tesoura, martelo.
c) pinça, pegador de gelo, carrinho de mão.
d) vassoura, martelo, carrinho de mão.

16. (Enem) Em um experimento, um professor levou para a sala de aula um saco de arroz, um pedaço de madeira triangular e uma barra de ferro cilíndrica e homogênea. Ele propôs que fizessem a medição da massa da barra utilizando esses objetos. Para isso, os alunos fizeram marcações na barra, dividindo-a em oito partes iguais, e em seguida apoiaram-na sobre a base triangular, com o saco de arroz pendurado em uma de suas extremidades, até atingir a situação de equilíbrio.

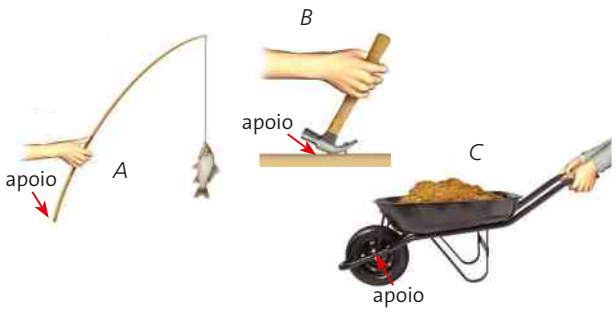


Paulo Manzi/Arquivo da editora

Nessa situação, qual foi a massa da barra obtida pelos alunos?

a) 3,00 kg
b) 3,75 kg
c) 5,00 kg
d) 6,00 kg
X e) 15,00 kg

17. (IFSP) No nosso cotidiano, as alavancas são frequentemente utilizadas com o objetivo de facilitar algum trabalho ou para dar alguma vantagem mecânica, multiplicando uma força. Dependendo das posições relativas do ponto fixo ou de apoio de uma alavanca (fulcro) em relação às forças potente e resistente, elas podem ser classificadas em três tipos: interfixas, interpotentes e inter-resistentes. As figuras mostram os três tipos de alavancas.



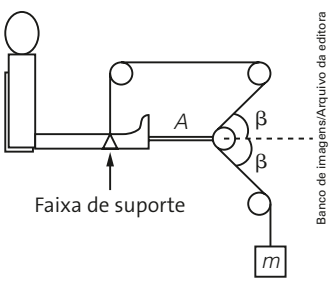
Paulo Manzi/Arquivo da editora

Disponível em: <www.portaldoprofessor.mec.gov.br>. Adaptado. Acesso em: nov. 2012.

As situações *A*, *B* e *C*, nessa ordem, representam alavancas classificadas como:

a) inter-resistente, interpotente e interfixa.
b) interpotente, inter-resistente e interfixa.
X c) interpotente, interfixa e inter-resistente.
d) interfixa, inter-resistente e interpotente.
e) interfixa, interpotente e inter-resistente.

18. (UFG-GO) Para tratar fraturas do fêmur é comumente utilizado um aparato chamado de sistema de tração de Russel, em que uma haste rígida *A* traciona o fêmur, como esquematizado na figura ao lado. Considere que a perna esteja completamente engessada, que a massa da haste seja desprezível e que as polias e fios sejam ideais.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Para o caso em que a perna esteja orientada horizontalmente, com $\beta = 60°$ e $m = 7{,}50$ kg, calcule:

a) o módulo da tração, em newtons, exercida ao longo da perna, considerando $g = 10$ m/s²; $T = 75$ N
b) a massa da perna, considerando que seu comprimento seja $L = 1{,}0$ m, que seu centro de massa fique a uma distância de 45 cm da cabeça do fêmur e que a faixa de suporte esteja colocada a 10 cm da planta do pé. $m = 15$ kg

CAPÍTULO 11

Fluidos

Veja orientações e sugestões de encaminhamento dos assuntos deste capítulo no Manual do Professor.

PlusONE/Shutterstock



Canal de Veneza, Itália, em 2015.

A cidade de Veneza enfrenta sua pior inundação em 22 anos. Ontem, praticamente todo o centro histórico da cidade italiana foi tomado pelas águas. A maré subiu 1,56 m acima do nível do mar. [...]

CHADE, Jamil. Veneza sofre pior inundação em 22 anos. *O Estado de S. Paulo*, 2 dez. 2008. p. A-15.

É possível a água subir acima do nível do mar, visto que as águas na cidade de Veneza já estão no nível do mar?

1 Densidade e pressão

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

No estudo dos fluidos, um dos conceitos fundamentais é o de **densidade**. Comecemos com um exemplo. Ao final de uma peça de teatro, um espectador fica surpreso ao ver um funcionário carregar uma grande rocha do cenário com apenas uma das mãos. Como isso é possível?

Na realidade, a textura externa daquela "rocha" imita as verdadeiras, mas o material que a constitui pode ser, por exemplo, o poliestireno expandido – um material que faz a rocha cenográfica muito mais leve do que uma rocha real de mesmo volume. Dizemos então que, embora as rochas possuam o mesmo volume, elas possuem massas diferentes e, consequentemente, densidades diferentes.

Isso porque a **densidade** μ de um corpo é a razão entre a massa m desse corpo e o correspondente volume V ocupado por ele:

$$\mu = \frac{m}{V}$$

Uma unidade muito usual da densidade é o grama por centímetro cúbico (g/cm³), mas no sistema internacional a unidade é o quilograma por metro cúbico (kg/m³). A relação entre essas unidades é:

$$1\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{10^{-3}\,\text{kg}}{10^{-6}\,\text{m}^3} = 10^3\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Na tabela 11.1 apresentamos os valores das densidades (massas específicas) de algumas substâncias em g/cm³, a uma temperatura de 15 °C (com exceção do gelo, cujo valor apresentado corresponde à temperatura de 0 °C).

Tabela 11.1 Densidades (massas específicas) de algumas substâncias

Substância	μ (g/cm³)
água	1,00
gelo	0,92
álcool	0,79
alumínio	2,70
ferro	7,87
chumbo	11,3
mercúrio	13,5

Fonte dos dados: Lide D. R. (Ed.). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003.

Pressão

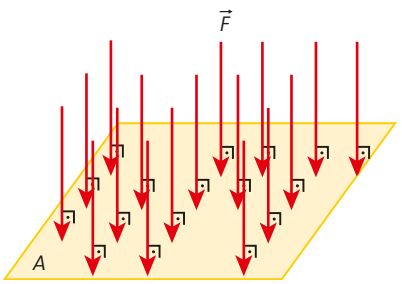
Outra grandeza importante no estudo dos fluidos é a **pressão**. Vejamos um exemplo. Quando queremos cravar um prego em uma tábua, encostamos na tábua a ponta do prego. O motivo dessa escolha é que a ponta do prego penetra na madeira com maior facilidade do que a outra extremidade. Mas por quê? Porque, em razão do formato da ponta do prego, a força aplicada sobre ele fica toda concentrada em uma área muito pequena da tábua.

Já quando um fluido aplica força, por exemplo, no fundo de um recipiente, essa força não é concentrada em uma pequena região, e sim distribuída ao longo de toda a superfície.

No estudo dos fluidos, é mais conveniente trabalhar com a massa por unidade de volume (densidade) do que com a massa total. De modo análogo, no caso das forças exercidas por fluidos, é também mais conveniente trabalhar com a **força por unidade de área** – conceito de **pressão**.

Consideremos uma força $\vec{F}$ aplicada perpendicularmente a uma área A (figura 11.1). A pressão p aplicada pela força F sobre a área A é dada pela relação:

$$p = \frac{F}{A}$$



Banco de imagens/Arquivo da editora

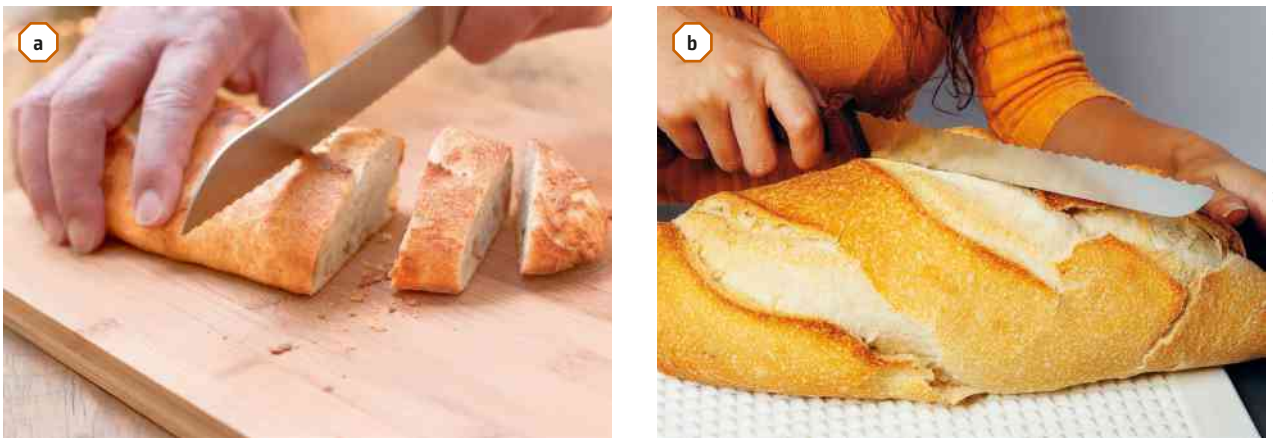
Figura 11.1 Representação esquemática da força que um fluido aplica sobre uma superfície. As diversas setas indicam que a força $\vec{F}$ está distribuída em toda a área A.

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade de pressão é o newton por metro quadrado (N/m^2), também conhecida como pascal (Pa). A **tabela 11.2** apresenta outras unidades de pressão e suas relações com a unidade do SI.

Tabela 11.2 Unidades usuais de pressão

Unidade	Relação com o pascal (N/m^2), para $g = 10\ m/s^2$
dyn/cm^2 (bária)	$1\ dyn/cm^2 = 0{,}1\ Pa$
kgf/cm^2	$1\ kgf/cm^2 = 10^5\ Pa$
atm (atmosfera)	$1\ atm = 1{,}03 \cdot 10^5\ Pa$
lbf/pol^2 (psi)	$1\ lbf/pol^2 = 6{,}9 \cdot 10^3\ Pa$

O conceito de pressão nos permite entender muitos dos fenômenos físicos que nos cercam. Por exemplo, para cortar um pedaço de pão, utilizamos o lado afiado da faca (menor área), pois, para uma mesma força, quanto menor é a área, maior é a pressão produzida. Como vemos na **figura 11.2**, a pressão é maior quando utilizamos o lado afiado da faca do que quando utilizamos o outro lado.



Lesapi Images/Shutterstock/Glow Images

Sérgio Dotta Jr./Arquivo da editora

Figura 11.2 Utilizando o lado afiado da faca (**a**), obtemos um resultado mais eficiente do que quando utilizamos o lado não afiado da faca (**b**).

Exercício resolvido

1. Um brinquedo antigo, conhecido como perna de pau, é constituído por duas longas hastes que possuem em sua parte inferior calços para que o usuário coloque os pés, conforme a figura. Uma menina, andando com pernas de pau na calçada cimentada da praia, resolve caminhar com elas na areia. A área de contato com o solo de cada perna de pau é $\frac{1}{10}$ da área de apoio de cada pé descalço.



Thatcher Keats/Photonica/Getty Images

a) O que acontece com o peso do conjunto menina-brinquedo quando ela passa da calçada para a areia?
b) Por que a tendência de afundar na areia é maior quando ela usa as pernas de pau?
c) Desprezando o peso das pernas de pau, quantas vezes aumentaria a pressão quando a menina deixasse de andar descalça e começasse a usar o brinquedo?

Resolução:

a) O peso do conjunto permanece o mesmo.
b) Como há redução na área de apoio, a pressão fica maior.
c) Como a área de contato diminuiria dez vezes, a pressão seria multiplicada por dez.

Exercícios

1. (Enem) Pelas normas vigentes, o litro do álcool hidratado que abastece os veículos deve ser constituído de 96% de álcool puro e 4% de água (em volume). As densidades desses componentes são dadas na tabela.

Substância	Densidade (g/L)
água	1000
álcool	800

Um técnico de um órgão de defesa do consumidor inspecionou cinco postos suspeitos de venderem álcool hidratado fora das normas. Colheu uma amostra do produto em cada posto, mediu a densidade de cada uma, obtendo:

Posto	Densidade do combustível (g/L)
I	822
II	820
III	815
IV	808
V	805

A partir desses dados, o técnico pôde concluir que estavam com o combustível adequado somente os postos:

a) I e II.
b) I e III.
c) II e V.
d) III e IV.
X e) IV e V.

2. (Enem) Um dos problemas ambientais vivenciados pela agricultura hoje em dia é a compactação do solo, devida ao intenso tráfego de máquinas cada vez mais pesadas, reduzindo a produtividade das culturas.
Uma das formas de prevenir o problema da compactação do solo é substituir os pneus dos tratores por pneus mais

X a) largos, reduzindo a pressão sobre o solo.
b) estreitos, reduzindo a pressão sobre o solo.
c) largos, aumentando a pressão sobre o solo.
d) estreitos, aumentando a pressão sobre o solo.
e) altos, reduzindo a pressão sobre o solo.

3. Alguns carros novos saem das montadoras com o pneu estepe compacto, ou seja, um pneu mais estreito do que os pneus normais utilizados para rodagem, conforme mostra a figura.



Pneu normal



Pneu compacto

Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Esse pneu compacto deve ser usado somente para substituição temporária de um pneu normal, no caso de um furo, por exemplo. Enquanto os pneus normais são calibrados com, aproximadamente, 30 psi (210 kPa), um pneu compacto é calibrado com 60 psi (420 kPa), o dobro da pressão de um pneu normal.
Esse fato se justifica porque o pneu estepe deverá suportar ////////////// peso que o pneu normal suporta.
A lacuna deve ser preenchida corretamente por:

a) o dobro do
b) a metade do
X c) o mesmo
d) um quarto do
e) o triplo do

4. Para caminhadas na neve fofa, é comum o uso de "sapatos" especiais, como os utilizados pela dupla da fotografia.



Vitalii Nesterchuk/Shutterstock/Glow Images

Para simplificar, considere que esse sapato é geometricamente semelhante à sola de um sapato comum, mas tem o triplo das dimensões.

a) Qual é a razão entre as áreas do sapato de neve e a sola do sapato comum? $A_n/A_c = 9$
b) Sem considerar o peso próprio do sapato de neve, a força que uma pessoa em equilíbrio aplica na neve fofa se altera com o uso do sapato?
Não, pois continua tendo a intensidade do próprio peso da pessoa.

2 Pressão nos fluidos

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

Física explica

Veja sugestões e respostas desta seção no Manual do Professor.

Pressão atmosférica

A atmosfera é composta de vários gases, que exercem pressão sobre a superfície da Terra. Essa pressão, denominada **pressão atmosférica**, depende da altitude do local, pois, à medida que nos afastamos da superfície do planeta, menor é a extensão da coluna de ar acima da posição em que nos encontramos, por isso a pressão é menor – em outras palavras, o ar fica cada vez mais rarefeito.

O físico e matemático italiano Evangelista Torricelli (1608-1647) idealizou uma experiência para determinar a pressão atmosférica ao nível do mar, que mais tarde foi realizada por Vincenzo Viviani (1622-1703).



Album/Akg-Images/Latinstock

Retrato de Evangelista Torricelli, discípulo de Galileu Galilei (1564-1642).

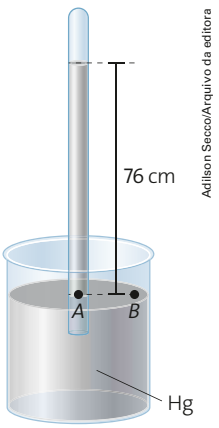
Torricelli usou um tubo de aproximadamente 1,0 m de comprimento, cheio de mercúrio. Ele colocou o tubo na vertical, com a extremidade tampada para baixo e mergulhada em um recipiente que também continha mercúrio. Observou-se que, após destampar o tubo nessa posição, o nível do mercúrio desceu e se estabilizou na posição correspondente a 76 cm, restando vácuo na extremidade superior (fechada) do tubo.

A pressão no ponto *A* corresponde à pressão da coluna de mercúrio dentro do tubo, e a pressão no ponto *B* corresponde à pressão atmosférica ao nível do mar. Assim:

$$p_B = p_A \Rightarrow p_{atm.} = p_{coluna_{(Hg)}}$$

Como a coluna de mercúrio que equilibra a pressão atmosférica é de 76 cm, dizemos que a pressão atmosférica ao nível do mar equivale à pressão de uma coluna de mercúrio de 76 cm (ou 0,76 m). Veremos, na página 260, que, segundo a lei de Stevin, a pressão de uma coluna de líquido é dada por $\mu \cdot g \cdot h$, em que temos para $\mu_{Hg} = 13\,600\ kg/m^3$ e $g = 9{,}8\ m/s^2$:

$$p_{atm.} = 13\,600 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}76 \Rightarrow p_{atm.} = 1{,}01 \cdot 10^5\ N/m^2$$



Adilson Secco/Arquivo da editora

Esquema do experimento idealizado por Torricelli. Representação sem escala e em cores fantasia.

Se, no lugar de um líquido tão denso quanto o mercúrio, utilizarmos água, a coluna líquida necessária para equilibrar a pressão atmosférica será bem maior, igual a 10,3 m. Portanto, a pressão atmosférica normal é equivalente à pressão exercida por uma coluna de água de aproximadamente 10 m.

A maior pressão atmosférica na superfície da Terra é a pressão ao nível do mar (altitude nula). Para qualquer outro ponto acima do nível do mar, a pressão atmosférica é menor. A **tabela 11.3** apresenta a variação da pressão atmosférica de acordo com a altitude.

Tabela 11.3 Variação da pressão atmosférica com a altitude

Altitude (m)	**Pressão atmosférica** (cmHg)
0	76,0
200	74,2
400	72,4
600	70,7
800	69,0
1000	67,4

Fonte dos dados: Lide D. R. (Ed.). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 84. ed. Boca Raton: CRC Press, 2003.

1. O que acontece quando fura o pneu de um automóvel?
2. Por que os jogadores de futebol encontram dificuldade para jogar em algumas cidades, como em La Paz, na Bolívia, que fica a aproximadamente 3 600 m de altitude?

Ao mergulhar na água, você já deve ter sentido nas orelhas a pressão que esse fluido exerce. Mas talvez você nunca tenha feito a seguinte comparação: com as orelhas a meio metro de profundidade, por exemplo, estando você em uma pequena piscina, ou em uma grande lagoa, ou até mesmo no mar, a pressão que você sente é praticamente a mesma. Embora nossas sensações não representem medidas, a sensação que a água produz sobre as orelhas reflete um fato físico:

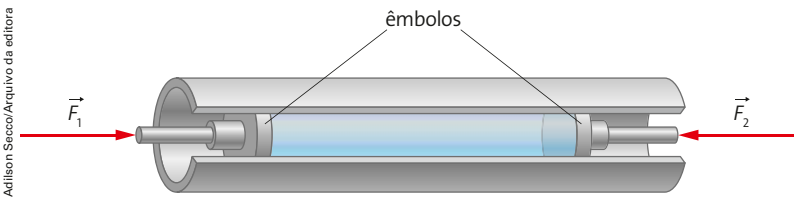
> A pressão que um fluido em equilíbrio exerce não depende da largura do local (ou do recipiente) que o contém.

Além disso, se você mudar de lugar e novamente mergulhar meio metro em diferentes pontos do mar ou de uma piscina, por exemplo, você experimentará a mesma sensação, o que reflete outro fato físico:

> Todos os pontos de um plano horizontal de um fluido em equilíbrio estão sujeitos à mesma pressão.

Vejamos o porquê. Uma vez que um fluido esteja em equilíbrio, não há tendência de escorregamento; logo, as interações que ele mantém com os corpos são sempre normais às superfícies de contato. Além disso, os fluidos nunca "puxam" os corpos com que mantêm contato, isto é, essa interação normal à superfície acontece sempre no sentido de o fluido empurrar a área de contato. Dessa maneira, a pressão exercida por um fluido nas paredes de um recipiente qualquer é sempre uma grandeza positiva.

Consideremos agora um tubo cilíndrico uniforme, com um êmbolo agindo de cada lado (**figura 11.3**).



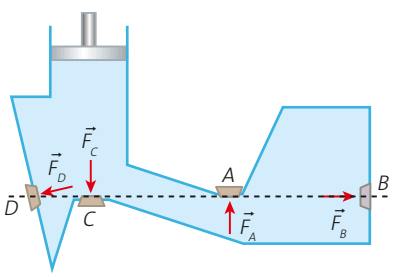
Adilson Secco/Arquivo da editora

Figura 11.3 Neste tipo de mecanismo, independentemente de as intensidades das forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ serem diferentes, a pressão é a mesma nos dois êmbolos, se o fluido está em equilíbrio.

Por menor que seja a diferença entre as intensidades das forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, o sistema inicia o deslizamento. Portanto, se o fluido está em equilíbrio, as forças em ambas as extremidades são iguais: em decorrência disso, a pressão é a mesma nos dois êmbolos.

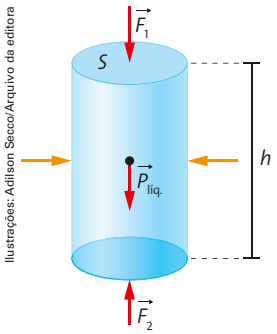
Observe agora as tampas *A*, *B*, *C* e *D* do recipiente da **figura 11.4**, que contém um líquido em equilíbrio. Todas essas tampas estão num mesmo plano horizontal, portanto estão sujeitas à mesma pressão. Porém, a força aplicada em cada uma delas tem direção diferente das demais. No ponto *A*, por exemplo, a força é vertical para cima; no ponto *B*, horizontal para a direita. Em todos os quatro pontos assinalados, entretanto, a pressão tem o mesmo valor.

Não podemos dizer em que direção age a pressão, mas sim em que direção e sentido vai agir a força aplicada pelo líquido. A pressão se manifesta em todas as direções; é, portanto, uma grandeza escalar.



Formato/Arquivo da editora

Figura 11.4 Representação esquemática das forças aplicadas por um fluido em equilíbrio sobre diferentes pontos de um recipiente.



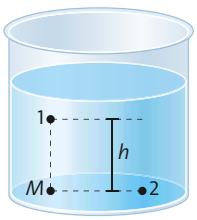
Ilustrações: Adilson Secco/Arquivo da editora

Figura 11.5 Representação esquemática de uma coluna líquida em equilíbrio, na qual o cilindro que contém o líquido (e lhe dá essa forma) foi omitido.

Veja resposta desta questão no Manual do Professor.

Para refletir

A lei de Stevin é válida se os pontos **1** e **2 não** estão na mesma vertical, como na figura abaixo?



Representação esquemática de dois pontos quaisquer (1 e 2) de um líquido em equilíbrio, havendo entre eles um desnível *h*.

Lei de Stevin

Vamos, agora, analisar a variação da pressão em um líquido, na direção vertical. Para isso, consideremos certa quantidade de líquido homogêneo no formato de um cilindro (**figura 11.5**). A resultante das forças laterais que o líquido exerce sobre o cilindro é nula, pois, para cada elemento de área da superfície lateral, encontramos outro, na mesma horizontal e diametralmente oposto, no qual age uma força de mesma intensidade e sentido oposto. Essa conclusão decorre do fato de que, em um líquido, todos os pontos situados em uma horizontal ficam sujeitos à mesma pressão.

Para o equilíbrio na direção vertical, devemos ter:

$$F_2 = F_1 + P_{líq.} \quad \text{(I)}$$

As forças F_1 e F_2 são calculadas aplicando-se a definição algébrica de pressão. Considerando que a área da base do cilindro é A, temos:

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow F = p \cdot A \begin{cases} F_1 = p_2 \cdot A \\ F_2 = p_2 \cdot A \end{cases} \quad \text{(II)}$$

O peso do líquido pode ser calculado por:

$$P_{líq.} = m \cdot g = \mu \cdot V \cdot g = \mu \cdot h \cdot A \cdot g \quad \text{(III)}$$

Substituindo os resultados II e III na equação I, obtemos:

$$p_2 \cdot A = p_1 \cdot A + \mu \cdot g \cdot h \cdot A$$

$$p_2 = p_1 + \mu \cdot g \cdot h \text{ (lei de Stevin)}$$

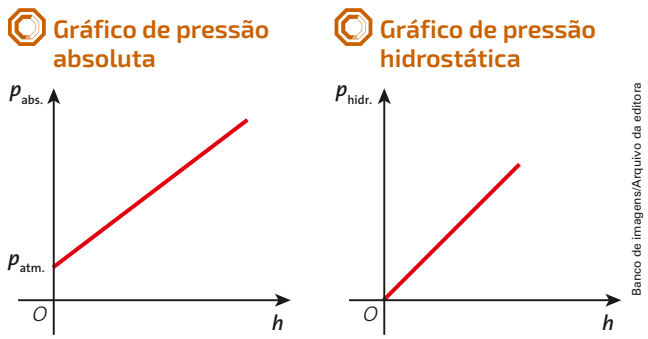
Se o ponto 1 estiver na superfície livre do líquido, a pressão p_1 é igual à pressão do ar atmosférico no local ($p_{atm.}$). Nesse caso, a lei de Stevin pode ser escrita como:

$$p_2 = p_{atm.} + \mu \cdot g \cdot h$$

Observe que a pressão no ponto 2 é uma soma de duas parcelas: a primeira é a pressão atmosférica; a segunda pode ser interpretada como a pressão exercida exclusivamente pela coluna líquida, chamada de pressão hidrostática (ou pressão efetiva):

$$p_{hidr.} = \mu \cdot g \cdot h$$

A pressão hidrostática exprime o quanto a pressão num determinado ponto supera a pressão atmosférica (**figura 11.6**). Há uma razão técnica para a utilização desse conceito: as paredes de uma caldeira ou a estrutura de um pneu, por exemplo, precisam resistir somente à pressão efetiva, uma vez que no lado de fora já há a resistência da pressão atmosférica. Por essa razão, esse conceito é muito usado na engenharia.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 11.6 Gráficos de pressão absoluta ($p_{abs.}$) e de pressão hidrostática ou efetiva ($p_{hidr.}$).

Quando medimos a pressão dos pneus de um automóvel, por exemplo, medimos a pressão efetiva, isto é, o manômetro (**figura 11.7**) indica o quanto a pressão interna está acima da pressão ambiente. Assim, quando esse manômetro indica zero, essa leitura não significa que dentro do pneu haja vácuo, mas sim que a pressão interna é exatamente igual à pressão ambiente.



songpholt/Shutterstock

Figura 11.7 O manômetro é o instrumento com que se mede a pressão de fluidos.

Exercício resolvido

2. Uma piscina tem 25 m de comprimento, 10 m de largura e 2,0 m de profundidade e encontra-se totalmente cheia de água ($\mu = 1{,}0 \cdot 10^3$ kg/m³).

Se essa piscina for suspensa, em qual valor mínimo de pressão o fundo dela deve ser estruturado para resistir?

Considere $g = 10$ m/s² e $p_{atm.} = 1{,}0 \cdot 10^5$ N/m².

Resolução:

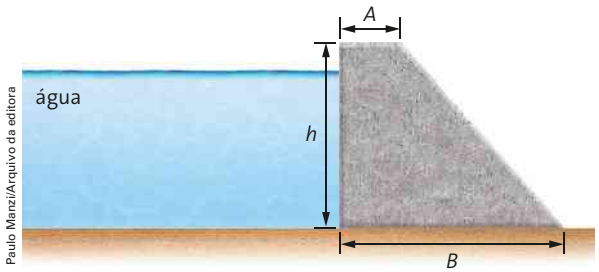
Como na parte inferior do fundo da piscina já há contraposição da força decorrente da pressão atmosférica, esse fundo deverá ser estruturado para suportar (no mínimo) apenas a pressão exclusivamente devida ao peso da água, ou seja, a pressão hidrostática. Portanto:

$p_{mín.} = p_{hidr.} = \mu \cdot g \cdot h \Rightarrow p_{mín.} = 1{,}0 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 2 \Rightarrow$

$\Rightarrow p_{mín.} = 2 \cdot 10^4$ N/m²

Exercícios

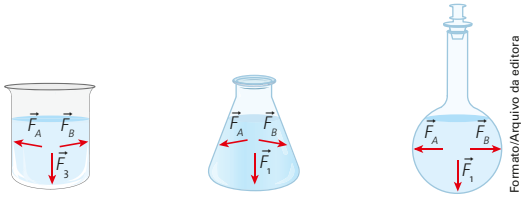
5. A figura representa o perfil de uma barreira de água no formato de um trapézio de bases *A* e *B* e altura *h*.



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Explique por que é melhor se optar por uma barragem na forma de um trapézio em vez de na forma de um retângulo. Resposta no Manual do Professor.

6. Uma aparente contradição da lei de Stevin foi apontada séculos atrás. A questão girou em torno de três recipientes contendo o mesmo volume de um mesmo líquido, porém com formas diferentes, conforme mostrado abaixo.



Formato/Arquivo da editora

Como a altura do líquido é a mesma nos três recipientes, temos a mesma pressão na base de cada um deles: $p_1 = p_2 = p_3$. Mas, sendo $F = p \cdot A$, e $A_3 > A_2 > A_1$, temos: $F_3 > F_2 > F_1$.

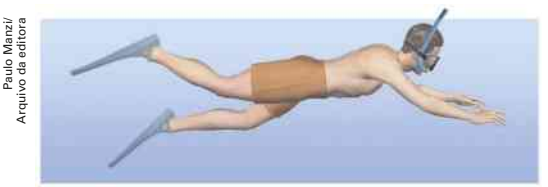
Por outro lado, como as forças F_1, F_2 e F_3 deveriam equilibrar o peso do líquido e como os três recipientes têm o mesmo volume do mesmo líquido, o peso do líquido é o mesmo nos três casos. Portanto: $F_3 = F_2 = F_1$.
Como você explica essa aparente contradição (paradoxo)? Resposta no Manual do Professor.

7. Nosso coração, em condições normais, é capaz de bombear o sangue a uma pressão média de 120 mmHg acima da pressão ambiente.

a) Considerando a densidade do sangue praticamente igual à da água (1 g/cm³), calcule até que altura o coração conseguiria elevar uma coluna de sangue. $h = 1{,}58$ m

b) A girafa, por causa do tamanho de seu pescoço, tem um desnível entre a cabeça e o coração de aproximadamente 2,5 m. Um coração humano seria suficiente para ela receber o sangue necessário no cérebro? Não, a pressão não é suficiente.

8. A expansão da caixa torácica de um ser humano médio não consegue superar diferenças de pressão acima de $\frac{1}{20}$ atmosfera. Com essa condição, até que profundidade podemos mergulhar e respirar por um tubo (*snorkel*), conforme ilustra a figura abaixo? $h = 50$ cm


Paulo Manzi/Arquivo da editora

Representação sem escala e em cores fantasia de um mergulhador usando *snorkel*.

3 Medidores de pressão

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

Os instrumentos destinados à medição de pressão medem, efetivamente, diferenças de pressão, e não uma pressão absoluta. Entretanto, pode ser possível medir a diferença entre a pressão de um ambiente em relação a outro cuja pressão é nula. Nesse caso, o resultado da medição corresponde à própria pressão absoluta.

Manômetro

Os manômetros são medidores de pressão nos quais se utiliza a pressão atmosférica como referência; isto é, com esses instrumentos, mede-se a diferença entre a pressão do sistema e a pressão atmosférica. Pressões medidas desse modo chamam-se **pressões manométricas**. A pressão manométrica de um sistema pode ser positiva ou negativa, dependendo de estar acima ou abaixo da pressão atmosférica. Quando o manômetro mede uma pressão manométrica negativa, ele é chamado de **manômetro de vácuo**.

Formato/Arquivo da editora

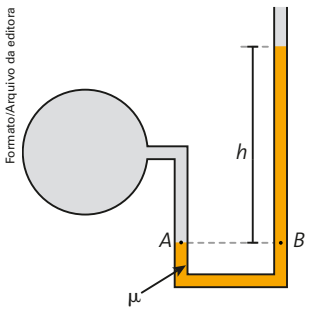


Figura 11.8 Representação esquemática de um manômetro de tubo aberto.

Observe a figura 11.8, que representa um manômetro de tubo aberto. Pela diferença de níveis do líquido nos dois ramos do tubo em U, mede-se a pressão manométrica do sistema contido no reservatório. Escolhendo os pontos *A* e *B* mostrados na figura, temos:

$$p_A = p_B \Rightarrow p_{sist.} = p_{atm.} + p_{liq.} \Rightarrow p_{sist.} - p_{atm.} = \mu \cdot g \cdot h \Rightarrow p_{man.} = \mu \cdot g \cdot h$$

Quando entendemos o funcionamento desse manômetro, no qual uma diferença de pressão provoca um desnível entre as colunas líquidas, compreendemos por que, em regiões oceânicas, baixas pressões atmosféricas locais acarretam a subida do nível das águas (como ocorreu em Veneza em 2008). As águas são "empurradas" das regiões de alta pressão atmosférica para regiões de baixa pressão atmosférica, onde o nível da água sobe.

O uso de manômetros se faz necessário em diversas situações do dia a dia, como para calibrar pneus de automóvel (figura 11.9). Em alguns casos o uso de manômetro de tubo aberto não é adequado, por isso foram projetados manômetros para serem transportados com facilidade por ciclistas (figura 11.10).

As imagens desta página não estão representadas em proporção.

Marcelo Justo/Folhapress



Figura 11.9 Manômetro utilizado para verificar a calibração de pneus de carro. A pressão lida no mostrador é igual a 33 psi.

Milkovasa/Shutterstock

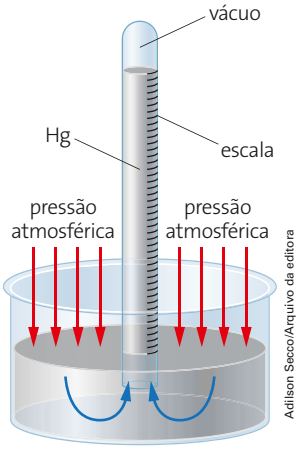


Figura 11.10 Manômetro utilizado para medir a pressão em um pneu de bicicleta.

Barômetros

No experimento de Torricelli, o volume que está livre de mercúrio, dentro do tubo, tem, praticamente, vácuo; logo, a altura da coluna de mercúrio é proporcional à pressão atmosférica (figura 11.11). Nessa condição, esse sistema constitui um tipo particular de manômetro, que mede a diferença entre a pressão ambiente e o vácuo. Esse dispositivo é denominado **barômetro**.

Como o mercúrio é um metal altamente tóxico e caro, hoje em dia a maioria dos barômetros é construída usando-se dispositivos eletrônicos com cristais sensíveis à pressão, chamados de **cristais piezelétricos**.



Adilson Secco/Arquivo da editora

Figura 11.11 A pressão atmosférica equilibra o mercúrio dentro do tubo evacuado na altura em que a pressão exercida pela coluna líquida se iguala à pressão ambiente. Representação sem escala e em cores fantasia.

Física tem História

Horror ao vácuo

Veja sugestões e respostas desta seção no Manual do Professor.

Na época de Torricelli já eram conhecidas as chamadas "bombas de aspiração", usadas para retirar água dos poços. A explicação para o funcionamento de tais bombas era que a natureza possuía uma propriedade chamada "horror ao vácuo". Portanto, quando o pistão subia, a água corria para ocupar o vazio deixado pela sua subida; em outras palavras, acreditava-se que a água era sugada pelo movimento de subida do pistão.

Nessa época, o duque da Toscana resolveu, num projeto ousado, irrigar os seus jardins retirando água de um poço com 15 m de profundidade. Entretanto, um enigma surgiu: a água subia pela tubulação até cerca de 10 m, e, por mais que a bomba fosse aperfeiçoada, a água não subia mais. A questão foi proposta a um dos discípulos de Galileu, Evangelista Torricelli, que conseguiu derrubar a teoria do "horror ao vácuo".

Supondo que a água fosse empurrada pela atmosfera e não sugada pelo êmbolo, Torricelli concluiu que, se a água subia somente 10 m, isso significava que a pressão atmosférica era equivalente à pressão exercida por uma coluna de água com 10 m de altura. Ele considerou ainda que, caso fosse utilizado um líquido mais denso, essa altura seria menor. A relação entre as alturas estaria na proporção inversa das densidades. Como o mercúrio é 13,6 vezes mais denso que a água, Torricelli calculou que esse líquido pararia de subir, por aspiração, quando atingisse a altura de 76 cm. A experiência foi realizada com sucesso, quatro anos antes de sua morte, por seu colega Vincenzo Viviani.

O desmoronamento do "horror ao vácuo" deu origem a uma nova classe de bombas, chamadas bombas de recalque. Nessas bombas, colocadas em um nível próximo ao do líquido a ser transferido, utilizam-se pistões (ou outros impelidores) para empurrar os fluidos, visto que "simplesmente por horror" eles não sobem.


Volodymyr Kyrylyuk/Shutterstock/Glow Images

Bomba de recalque.

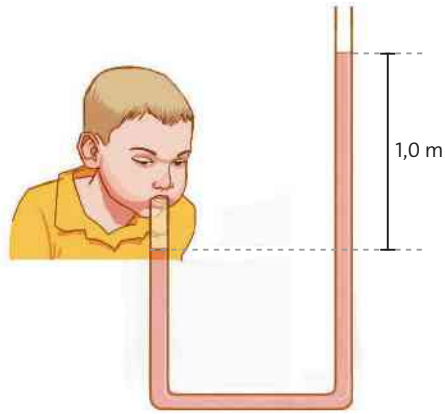
1. Com os conhecimentos de hoje, explique por que a água não subiu mais do que 10 metros.
2. O fato de a pressão atmosférica ser equivalente a uma coluna de 10 metros de água é válido em qualquer lugar?

ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

9. Utilizando um tubo plástico transparente, em formato de U, preenchido parcialmente com água limpa colorida com pó para refresco, André sopra em um dos ramos até que o desnível entre os dois ramos seja de 1,0 m, conforme ilustra a figura ao lado.

a) Considerando que a adição do pó para refresco praticamente não tenha afetado a densidade do líquido, ou seja, que a densidade seja 1 g/cm^3, em quanto a pressão do ar situado no ramo esquerdo do tubo supera a pressão ambiente? Use $g = 10$ m/s^2. $\Delta p_{ar} = 0{,}1$ atm.

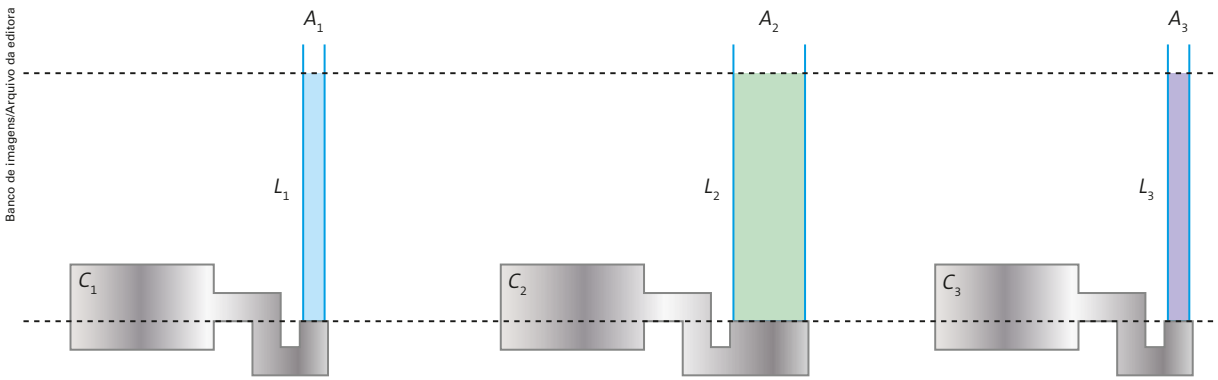
b) Admita que a secção transversal do tubo seja uniforme e que, no ramo direito, o líquido esteja a 10 cm da borda. Quanto André precisa aumentar a pressão que ele exerce com o sopro para que o líquido fique na iminência de transbordar no ramo direito? $\Delta p = 0{,}02$ atm.



Soud/Arquivo da editora

Representação sem escala e em cores fantasia do dispositivo.

10. As figuras representam três manômetros de tubo aberto para a atmosfera em um mesmo local, nos quais C_1, C_2 e C_3 são três reservatórios que contêm um mesmo gás. L_1, L_2 e L_3 são três líquidos diferentes, que ocupam a mesma altura nos tubos cilíndricos verticais, com massas específicas que obedecem à relação $\mu_1 > \mu_2 > \mu_3$.



Banco de imagens/Arquivo da editora

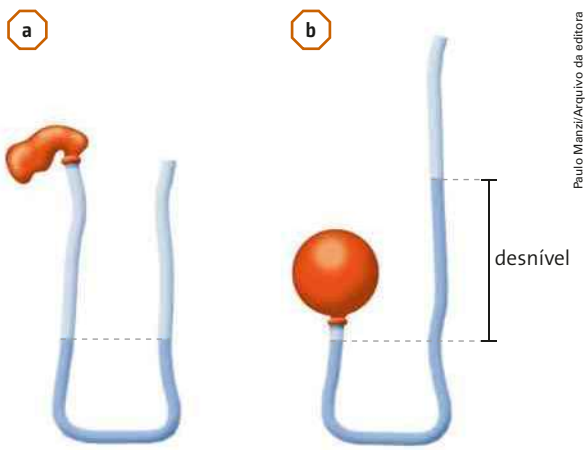
10. a) É a mesma nos três manômetros; é igual à pressão atmosférica no local onde eles estão.

Sabendo que as áreas transversais dos tubos cilíndricos obedecem à relação $A_1 = A_3 < A_2$, responda:

a) Em qual dos três manômetros a pressão na superfície livre dos líquidos é maior? Justifique.

b) Qual é a relação entre as pressões manométricas dos gases nos três reservatórios? $p_1 > p_2 > p_3$.

11. Carolina, enquanto estudava fluidos, inventou um dispositivo para encher bexigas sem que ela tenha que soprar, baseada nos manômetros de tubo aberto. Inicialmente, ela encaixa a bexiga vazia na extremidade esquerda de um tubo em U flexível (figura **a**), transparente e parcialmente preenchido com água. Depois, enquanto ela ergue a extremidade direita, baixa a esquerda, até que o nível de água esteja quase chegando ao bocal da bexiga (figura **b**). O processo é um pouco trabalhoso, mas funciona. Considerando que na figura **b** o desnível atingido entre as superfícies livres da água seja de 2,0 m, qual será a pressão efetiva (acima da atmosférica) no interior da bexiga? $\Delta p = 0{,}2$ atm.

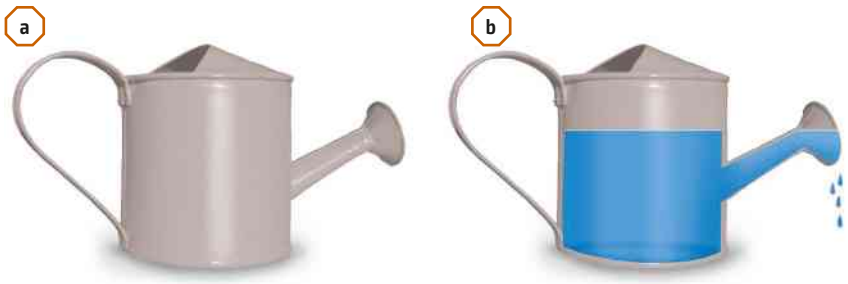


Paulo Manzi/Arquivo da editora

Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

4 Vasos comunicantes e prensas hidráulicas

Um jardineiro construiu um regador bem longo, com a intenção de transportar bastante água e não ter de voltar várias vezes à torneira para enchê-lo. Para seu desapontamento, quando o nível da água chegava um pouco abaixo da metade, a água começava a escorrer pelo bico (**figura 11.12**). O nível da água no bico é o mesmo que no interior do regador, pois há uma comunicação entre os dois.



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 11.12 Um regador com recipiente mais alto que o bico (**a**). A partir deste ponto, não se consegue encher mais o regador, pois a água escoa pelo bico (**b**). Representação sem escala e em cores fantasia.

Essa é uma situação típica de recipientes interligados de tal maneira que o fluido contido em um deles esteja em contato direto com o fluido contido nos demais – por meio de tubos, por exemplo. Recipientes assim interligados são chamados de **vasos comunicantes**.

Quando colocamos um líquido qualquer em um conjunto de vasos comunicantes, observamos que a altura que esse líquido atinge é a mesma em todos os vasos (ou ramos), mesmo quando inclinamos o conjunto (**figura 11.13**).

Veja resposta no Manual do Professor.

Para refletir

Como você procederia para fazer com o que o regador transportasse mais água?



Sérgio Dotta Jr./Arquivo da editora

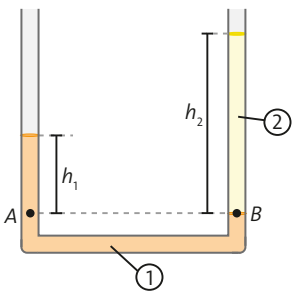
Figura 11.13 Líquido em vasos comunicantes. A altura que o líquido atinge nos cinco ramos é a mesma quando o conjunto está na horizontal (**a**) ou quando está inclinado (**b**).

Quando colocamos no mesmo recipiente dois líquidos que não se misturam, observamos que o líquido mais denso vai para a parte de baixo do recipiente, enquanto o menos denso fica na parte de cima. Se esse recipiente for um tubo em U, podemos ter a configuração esquematizada na **figura 11.14**.

No caso dos vasos comunicantes da **figura 11.14** (dois ramos de um tubo em U), as alturas medidas a partir do nível de separação dos dois líquidos são inversamente proporcionais às massas específicas dos líquidos. Tomando os pontos *A* e *B*, na mesma horizontal e no mesmo líquido, temos:

$$p_A = p_B \Rightarrow p_{atm.} + \mu_1 \cdot g \cdot h_1 = p_{atm.} + \mu_2 \cdot g \cdot h_2$$

$$\mu_1 \cdot h_1 = \mu_2 \cdot h_2$$



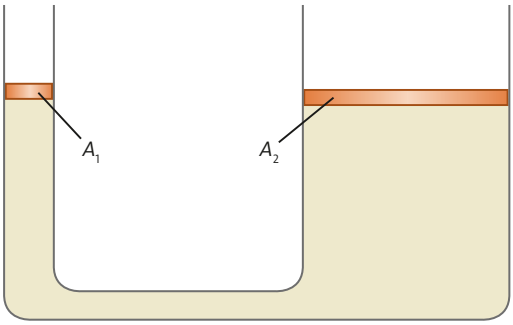
Banco de imagens/Arquivo da editora

Figura 11.14 Líquidos de diferentes densidades no interior de um tubo em U. O líquido 1 é mais denso que o líquido 2.

Prensa hidráulica

Vimos no capítulo anterior como multiplicar forças usando máquinas simples, como alavancas, arranjos de polias, etc. Com os fluidos, podemos também obter um arranjo multiplicador de forças. Vejamos como isso é possível.

A **figura 11.15** ilustra uma situação de equilíbrio de um fluido contido por dois pistões.



Ilustrações: Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 11.15 Fluido com dois pistões em equilíbrio.

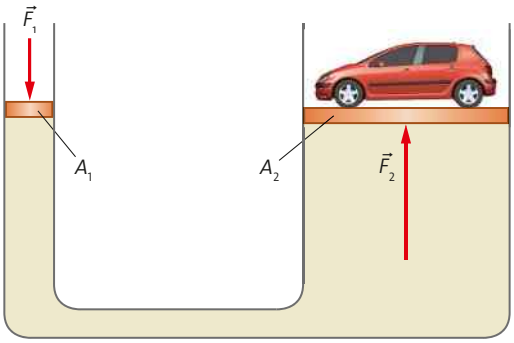


Figura 11.16 No elevador hidráulico, o acréscimo de pressão devido ao peso do carro é equilibrado pela força F_1.

Tanto no pistão à esquerda quanto no pistão à direita a pressão é a mesma. E se aumentarmos a pressão no êmbolo esquerdo, aplicando uma força? No êmbolo direito, a pressão aumentará na mesma intensidade.

O fato de o acréscimo de pressão ser transmitido a todos os pontos do líquido foi observado por Blaise Pascal (1623-1662), físico e matemático francês. O chamado princípio de Pascal pode ser enunciado da seguinte maneira:

> O acréscimo de pressão em determinada região de um líquido em equilíbrio é transmitido a todos os pontos do líquido.

Se o aumento de pressão no êmbolo esquerdo for causado por uma força $\vec{F}_1$, no outro êmbolo, com o mesmo aumento de pressão, teremos uma força $\vec{F}_2$, pois a área é diferente, de tal forma que a razão entre as forças é a razão entre as áreas dos pistões:

$$\Delta p = \frac{F}{A} \Rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \boxed{\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}}$$



Olyy/Shutterstock/Glow Images

Portanto, se uma das áreas for muito maior do que a outra, a força vai ser multiplicada na mesma proporção. Esse arranjo é conhecido como **prensa hidráulica** e é utilizado em elevadores hidráulicos (**figuras 11.16** e **11.17**), para movimentar braços de escavadeiras e em sistemas de freios de veículos em geral.

Em um automóvel, por exemplo, quando o motorista aperta o pedal do freio, está acionando um pistão de área pequena. Esse aumento de pressão é transmitido pelo fluido (óleo de freio) aos pistões que estão nas rodas, de áreas maiores, com a multiplicação da força.

Figura 11.17 Elevador de automóveis.

Vamos agora analisar os deslocamentos de cada um dos êmbolos da prensa (figura 11.18).

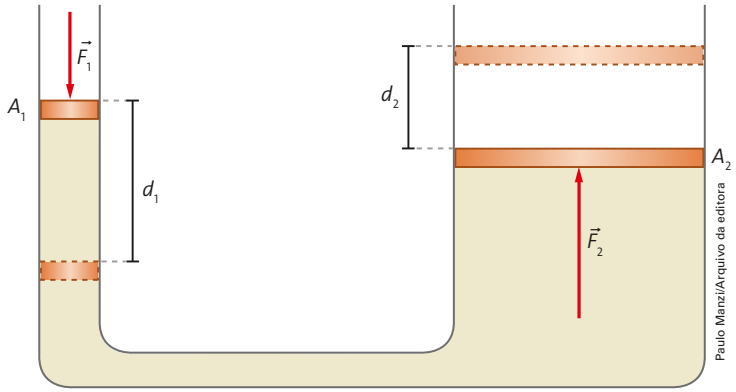


Figura 11.18 A um deslocamento no ramo mais estreito do elevador corresponde um deslocamento menor no ramo mais largo. Representação sem escala e em cores fantasia.

Considerando o fluido **incompressível**, o volume que for empurrado pelo êmbolo 1 é o acréscimo de volume na região do êmbolo 2. Assim:

Incompressível – Que não pode ser comprimido.

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 \Rightarrow A_1 \cdot d_1 = A_2 \cdot d_2$$

Como $\frac{A_1}{A_2} = \frac{F_1}{F_2}$, podemos escrever:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_1}{d_2} \Rightarrow F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$$

Concluímos que à maior força vai corresponder o menor deslocamento, ou seja, com a prensa hidráulica, embora ocorra ganho na intensidade da força, esse ganho vem acompanhado de redução no deslocamento (figura 11.19).

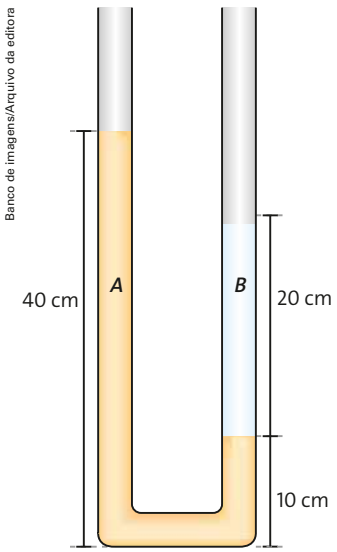
Com base na expressão $F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$, podemos dizer que os trabalhos realizados pelas duas forças são iguais. Desse modo, mesmo considerando que não exista forças dissipativas, na prensa hidráulica não obtemos ganho de energia mecânica.


Acervo do autor/Arquivo da editora

Figura 11.19 Arranjo experimental que exemplifica o princípio de funcionamento de uma prensa hidráulica. Para manter o sistema em equilíbrio, quanto maior a área das seringas, maior o número de arruelas.

ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

12. Para medir a densidade de um líquido, o professor montou o arranjo mostrado na figura a seguir (sem escala e em cores fantasia), no qual os líquidos *A* e *B* são imiscíveis.



$\frac{\mu_B}{\mu_A} = 1{,}5$

a) Qual é a razão entre as densidades dos líquidos *B* e *A*?

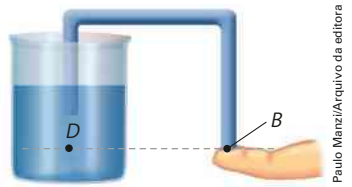
b) Se o líquido *A* for água ($d_A = 1\ g/cm^3$), qual será a densidade do líquido *B*? $\mu = 1{,}5\ g/cm^3$

13. (Enem) Para oferecer acessibilidade aos portadores de dificuldades de locomoção, é utilizado, em ônibus e automóveis, o elevador hidráulico. Nesse dispositivo é usada uma bomba elétrica, para forçar um fluido a passar de uma tubulação estreita para outra mais larga, e dessa forma acionar um pistão que movimenta a plataforma. Considere um elevador hidráulico cuja área da cabeça do pistão seja cinco vezes maior do que a área da tubulação que sai da bomba. Desprezando o atrito e considerando uma aceleração gravitacional de 10 m/s², deseja-se elevar uma pessoa de 65 kg em uma cadeira de rodas de 15 kg sobre a plataforma de 20 kg.

Qual deve ser a força exercida pelo motor da bomba sobre o fluido, para que o cadeirante seja elevado com velocidade constante?

a) 20 N
X c) 200 N
e) 5000 N
b) 100 N
d) 1000 N

14. Para retirar líquido de um recipiente, podemos utilizar uma mangueira do seguinte modo: enchemos a mangueira com o próprio líquido, mergulhamos uma das extremidades no recipiente e deixamos a outra do lado de fora, conforme a figura seguinte (sem escala e em cores fantasia).

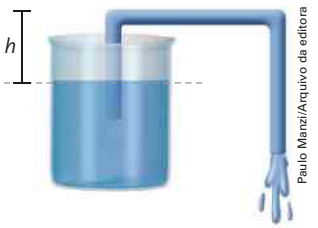


Esse arranjo é chamado de sifão. Para que ele funcione, é necessário que a extremidade *B* esteja abaixo do nível do líquido contido no recipiente.

a) Qual é a relação entre as pressões nos pontos *B* e *D* e a pressão atmosférica, com a mangueira totalmente cheia, como indica a figura? $P_D = P_B > P_{atm}$

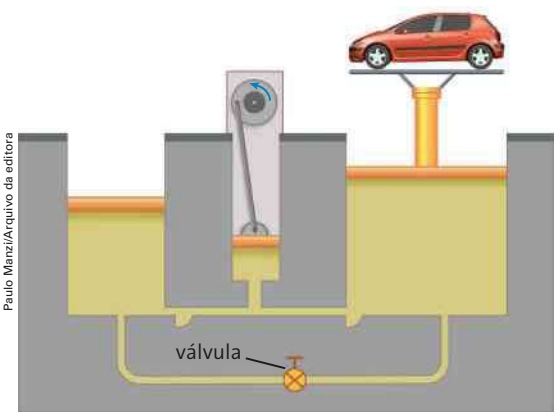
b) O que acontece quando a pessoa retira o dedo da extremidade *B* da mangueira? O líquido escoa.

c) A figura seguinte (sem escala e em cores fantasia) mostra o sifão em funcionamento, com o líquido escoando pela extremidade externa da mangueira. $h < 10$ m



Para o funcionamento do sifão, há alguma restrição para a altura *h*?

15. Vários postos de gasolina possuem um mecanismo hidráulico para elevação de automóveis, conforme mostra a figura (sem escala e em cores fantasia).



O pistão de acionamento realiza várias idas e vindas enquanto ergue o automóvel e as válvulas controlam o fluxo de óleo para que possa entrar pela esquerda e sair pela direita, mas não retornar.

Nesse dispositivo, o que deve ser feito para baixar o automóvel?

Abrir a válvula situada na parte inferior da figura, permitindo o retorno do óleo.

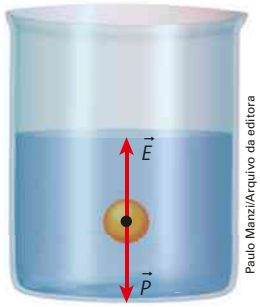
Veja comentários e sugestões para este tópico no Manual do Professor.

5 Princípio de Arquimedes

Experimente mergulhar uma bola em um tanque com água. Você vai perceber que, enquanto a bola não estiver totalmente imersa (mergulhada), você precisa aumentar a força para afundá-la um pouco mais. Mas, a partir do momento em que ela estiver totalmente imersa, não há diferença na força que você precisa aplicar para mantê-la um pouco mais funda ou mais rasa.

A origem dessa força nos remete a Arquimedes de Siracusa (282-212 a.C.), inventor e matemático grego que constatou que um corpo imerso em água torna-se aparentemente mais leve. Isso ocorre em razão da ação de uma força, vertical para cima, que o líquido exerce sobre o corpo – o **empuxo**.

Em um corpo que se encontra imerso em um líquido, agem duas forças: a força peso $\vec{P}$, devida à interação do corpo com a Terra, e a força de empuxo $\vec{E}$, devida à interação do corpo com o líquido (**figura 11.20**).



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Figura 11.20 Um corpo de peso $\vec{P}$ imerso em um fluido fica sob a ação de uma força denominada empuxo ($\vec{E}$). Representação sem escala e em cores fantasia.

Sendo assim, quando um corpo é colocado totalmente imerso em um líquido, temos as seguintes condições:

- se ele permanecer parado no ponto onde foi colocado, a intensidade da força de empuxo é igual à intensidade da força peso ($E = P$);
- se ele afundar, a intensidade da força de empuxo é menor do que a intensidade da força peso ($E < P$);
- se ele subir para a superfície, a intensidade da força de empuxo é maior do que a intensidade da força peso ($E > P$).

Para analisar situações como essas, vamos considerar o **princípio de Arquimedes**.

> Todo corpo mergulhado num fluido (líquido ou gás) fica sujeito ao empuxo, uma força vertical para cima, exercida pelo fluido, sendo a intensidade dessa força igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo.

O raciocínio usado por Arquimedes para elaborar esse princípio foi altamente engenhoso: se o corpo imerso não estivesse ocupando uma região do fluido, teríamos ali um fluido em **equilíbrio**. Logo, o fluido ao redor dessa região deve, necessariamente, exercer sobre ela uma força de intensidade igual à da força exercida pelo fluido deslocado pelo corpo. Desse modo, o empuxo não depende da densidade do corpo, mas sim do peso do fluido que ele desloca.

Sendo V_f o volume do fluido deslocado pelo corpo, a massa desse fluido é dada por:

$$m_f = \mu_f \cdot V_f$$

A intensidade do empuxo é igual à intensidade do peso dessa massa deslocada:

$$E = m_f \cdot g \Rightarrow E = \mu_f \cdot V_f \cdot g$$

Para corpos totalmente imersos, o volume de fluido deslocado é igual ao próprio volume do corpo. Nesse caso, a intensidade do peso do corpo e a do empuxo são dadas por:

$$P = \mu_c \cdot g \cdot V_c \text{ e } E = \mu_f \cdot g \cdot V_c$$

Comparando as duas expressões, observamos que:

- se $\mu_c > \mu_f$, temos $P > E$; o corpo desce em movimento acelerado;
- se $\mu_c < \mu_f$, temos $P < E$; o corpo sobe em movimento acelerado;
- se $\mu_c = \mu_f$, temos $P = E$; o corpo encontra-se em equilíbrio.

Quando um corpo mais denso que um líquido é totalmente imerso nesse líquido, observamos que o valor de seu peso, dentro desse líquido, é aparentemente menor do que no ar. A diferença entre o valor do peso do corpo no ar e no líquido (peso aparente) corresponde ao empuxo exercido pelo líquido:

$$P_{ap.} = P_{ar} - E$$

Flutuação

Suponha um corpo flutuando em um líquido (figura 11.21). Nessas condições, observamos que:

- o corpo encontra-se em equilíbrio: $E = P$;
- o volume de líquido deslocado pelo corpo é menor do que seu próprio volume: $V_{desloc.} < V_{corpo}$;
- sua densidade é menor do que a do líquido: $\mu_{corpo} < \mu_{líquido}$;
- o valor do peso aparente do corpo é nulo: $P_{ap.} = 0$.

A relação entre o volume imerso V_i e o volume total do corpo V_{corpo} é dada por:

$$E = P \Rightarrow \mu_{líq.} \cdot V_i \cdot g = \mu_{corpo} \cdot V_{corpo} \cdot g \Rightarrow \frac{V_i}{V_{corpo}} = \frac{\mu_{corpo}}{\mu_{líquido}}$$

A relação $\frac{V_i}{V_{corpo}}$ representa a fração do volume total do corpo que está submersa. Por exemplo, se $\frac{V_i}{V_{corpo}} = 0{,}9$, significa que 90% do corpo está submerso e a densidade do corpo é 90% da densidade do líquido em que flutua. É a relação que observamos entre o gelo e a água, conforme a figura 11.22: fora da água, vemos apenas 10% do total do *iceberg*.



Sérgio Dotta Jr./Arquivo da editora

Figura 11.21 Bola de bilhar flutuando, em equilíbrio, em um recipiente contendo mercúrio.

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.



Danita Delimont Stock/Keystone

Figura 11.22 *Icebergs* podem ter mais de 300 milhões de toneladas, porém apenas uma parcela fica exposta.

Veja sugestões e respostas desta seção no Manual do Professor.

A bexiga natatória e o submarino

Em 1936, o destacado físico russo Iakov Perelman abordou um fenômeno relacionado ao movimento de peixes submersos providos de um órgão chamado de **bexiga natatória**.

Muitos peixes são dotados dessa bexiga, que é uma espécie de bolsa orgânica em que é armazenado material gasoso. Erradamente, alguns pesquisadores imaginavam que o peixe submerso inflaria essa bolsa para reduzir a própria densidade e assim alçar pontos mais próximos da superfície, e, quando quisesse submergir um pouco mais, faria o procedimento contrário.

Para esclarecer o engano dessa análise, vamos pensar em um objeto de volume constante que esteja submerso, como, por exemplo, um submarino. Quando submerso e em equilíbrio, o submarino tem densidade total igual à da água. Para mantê-lo em equilíbrio e alcançar uma profundidade maior, não seria adequado encher os tanques de lastro com mais água, pois tal procedimento aumentaria a densidade do submarino e ele afundaria continuamente. Por esse mesmo raciocínio, se os tanques de lastro fossem esvaziados para levar o submarino a profundidades menores, ele se tornaria um corpo menos denso do que a água e, com isso, subiria até surgir na superfície. Sendo assim, uma vez que o lastro é ajustado, a profundidade de submersão é controlada com o uso da propulsão e de aletas, chamadas de profundores, com as quais o movimento do submarino é forçado para baixo ou para cima.

De modo análogo, o peixe possui cauda propulsora e nadadeiras. Utilizando-os adequadamente, ele sobe ou desce, quando submerso. Ao contrário do submarino, porém, o corpo do peixe é constituído de tecidos elásticos. Vejamos, então, como esse fato influencia nossa análise.

Em pontos mais próximos à superfície, a pressão que a água exerce sobre os corpos é menor. Sendo assim, quando o peixe nada para águas mais rasas, a bexiga natatória tende a expandir-se, visto que a pressão interna tende a se tornar maior do que a externa. Se o organismo do peixe não compensasse essa tendência, seu volume aumentaria – e, com isso, a densidade dele iria diminuindo até que ele boiasse, estufado.

Portanto, diversamente da antiga e equivocada interpretação, o controle na subida consiste em, à medida que a pressão vai diminuindo, o peixe ir retirando massa gasosa de sua bexiga, com o objetivo de preservar o próprio volume.



Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

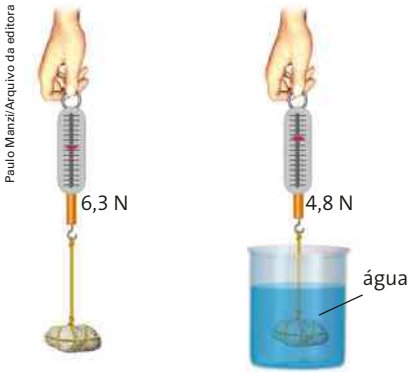
Peixe aberto por meio de corte exibindo bexiga natatória.

Na situação inversa, ao nadar para águas mais profundas, o peixe injeta massa gasosa nesse órgão. Para cada profundidade existe uma quantidade adequada de massa gasosa que o mantém em equilíbrio naquele nível – um equilíbrio instável, pois deslocamentos para cima ou para baixo, sem o controle biológico dessa bolsa, prosseguiriam indefinidamente, com o peixe perdendo o domínio sobre sua flutuação.

1. Alguns pescadores observaram que determinados peixes, quando fisgados subitamente para a superfície, quase expelem a bexiga natatória pela boca. Por que isso ocorre?
2. Um peixe está se deslocando para cima. Nessa situação ele deve injetar ou retirar gás da bexiga?

Exercícios

16. (UFTM-MG) Um estudante de Geologia, durante um trabalho de campo, encontrou uma rocha e, para dar sequência às suas atividades, precisou descobrir sua densidade, utilizando-se de seus conhecimentos de Hidrostática. Pendurou a rocha num dinamômetro com um barbante, e leu sua indicação duas vezes: com a rocha pendurada e imersa no ar e, depois, com ela pendurada e totalmente imersa em água, cuja densidade pode ser considerada 1 g/cm³. As figuras, fora de escala, mostram os resultados obtidos.



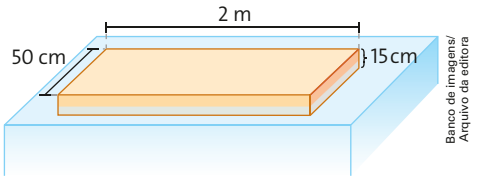
Com a rocha imersa no ar, o dinamômetro indicou 6,3 N.

Com a rocha totalmente imersa na água, o dinamômetro indicou 4,8 N.

Desconsiderando a massa do barbante utilizado, o valor encontrado pelo estudante para a densidade da rocha, em g/cm³, foi de:

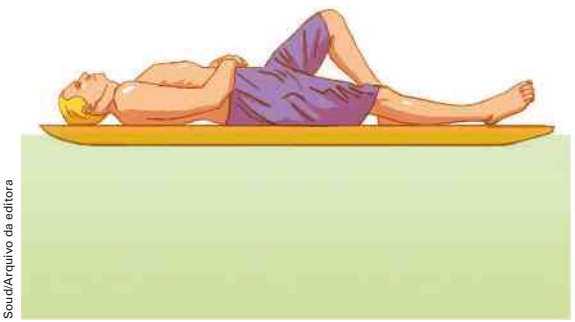
a) 1,5. c) 3,6. e) 6,3.
b) 2,4. X d) 4,2.

17. Uma prancha de madeira com 2 m de comprimento, 50 cm de largura e 15 cm de espessura flutua na água, conforme mostra a figura a seguir (sem escala e em cores fantasia).



Dados: $\mu_{água} = 1000\ kg/m^3$;
$\mu_{madeira} = 600\ kg/m^3$ e
$g = 10\ m/s^2$.

Suponha que uma pessoa se deite sobre a prancha e que esta fique com a face superior tangente à superfície da água. Nessas condições, qual é a massa da pessoa? $m_p = 60\ kg$



6 Hidrodinâmica

Veja sugestões e respostas desta seção no Manual do Professor.

Um homem está regando o jardim e deseja que o jato de água alcance pontos mais distantes (figura 11.23). Ele então obstrui ligeiramente o bocal de saída da água na mangueira e consegue o seu objetivo. Como você explica esse fato?

Para responder a essa questão, precisamos analisar o fluxo de um líquido por uma tubulação cuja secção transversal varie, conforme a figura 11.24.



Figura 11.23 Para alcançar pontos mais distantes com uma mangueira diminuímos a área da saída de água.

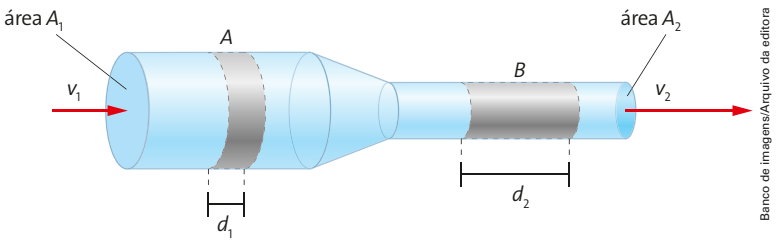


Figura 11.24 Representação esquemática de um trecho de tubulação pelo qual escoa um líquido.

Considerando uma situação de escoamento constante, ou seja, uma situação em que as velocidades não variam com a passagem do tempo, a quantidade de líquido que entra pelo lado esquerdo, em determinado intervalo de tempo, é igual à quantidade de líquido que sai pelo lado direito. Essa ideia traduz o princípio da conservação da massa.

Mas como é possível escoar a mesma quantidade de fluido nas duas partes da tubulação se o trecho da direita é mais estreito, como se vê na **figura 11.24**. A resposta é que, na região mais estreita, o fluido é mais veloz. Enquanto na região 1 o fluido percorre a distância d_1, na região 2 ele percorre uma distância maior, d_2, no mesmo intervalo de tempo.

Considerando v_1 e v_2 as velocidades nas regiões de áreas A_1 e A_2, respectivamente, podemos escrever:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

Essa expressão é conhecida como **equação da continuidade**.

O produto $A \cdot v$, que no SI é expresso em m^3/s, é a vazão Q do escoamento, uma grandeza que mede o volume de fluido que passa pela região por unidade de tempo (**figura 11.25**), ou seja, podemos também obter a vazão por:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = v \cdot A$$



Vyacheslav Pokrovskiy/Shutterstock

Figura 11.25 Em fluxo constante, à medida que o filete de água ganha velocidade na queda, a secção transversal do escoamento vai diminuindo.

Equação de Bernoulli

Em um fluido real as partículas não deslizam livremente umas em relação às outras, ou seja, o fluido tem viscosidade. E existe uma espécie de atrito interno em um escoamento. Além disso, os fluidos reais têm outra propriedade: apresentam uma certa aderência em relação à superfície sobre a qual estão escoando. Esses dois fatores são dissipativos; sendo assim, em um escoamento de um fluido real, a energia mecânica não é conservada.

No entanto, muitos fluidos apresentam viscosidade relativamente baixa e, muitas vezes, a aderência ocorre apenas em uma fina camada, bem próxima da superfície em relação à qual o fluido está escoando. Nessas condições, podemos desprezar esses dois fatores, simplificando bastante o estudo. Esse modelo de fluido, sem viscosidade nem aderência, é chamado de **fluido ideal** incompressível. Nesse modelo, a energia mecânica é conservada.

Fluido ideal – É um fluido que experimenta variações muito pequenas de volume, mesmo quando submetido à ação de pressões externas intensas. Os líquidos, para a maioria dos propósitos, podem ser considerados fluidos ideais incompressíveis.

Para estudar a energia nos escoamentos, é mais conveniente trabalhar com a energia por unidade de volume. A energia mecânica por unidade de volume no escoamento de um fluido compreende três parcelas:

- $\frac{1}{2} \cdot \mu \cdot v^2$: energia cinética por unidade de volume;
- $\mu \cdot g \cdot h$: energia potencial gravitacional por unidade de volume;
- p: energia por unidade de volume referente à pressão a que está submetido o fluido.

Daniel Bernoulli provou que, no escoamento de um fluido ideal, a energia mecânica por unidade de volume H é constante. Considere o escoamento de um fluido ideal incompressível, conforme a **figura 11.26**.

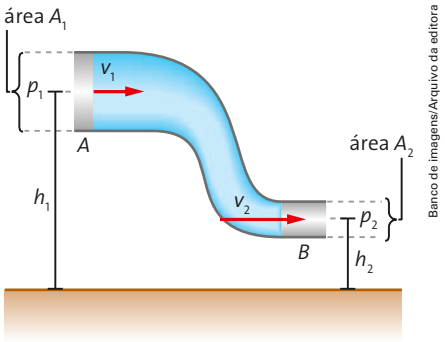


Figura 11.26 Representação esquemática de dois diferentes pontos do escoamento de um fluido ideal, situados em secções transversais distintas e a alturas diferentes.

Observando as áreas 1 e 2 e a conservação da energia mecânica por unidade de volume, podemos escrever:

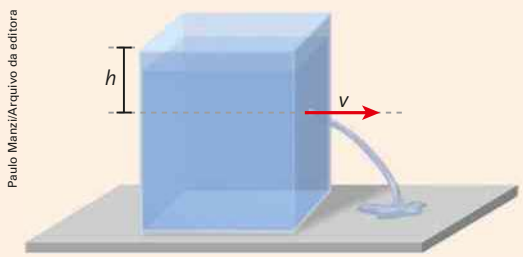
$$H = p_1 + \mu \cdot \frac{v_1^2}{2} + \mu \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \mu \cdot \frac{v_2^2}{2} + \mu \cdot g \cdot h_2$$

Essa expressão, chamada de **equação de Bernoulli**, pode ser generalizada para qualquer ponto do escoamento.

As imagens desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

Exercício resolvido

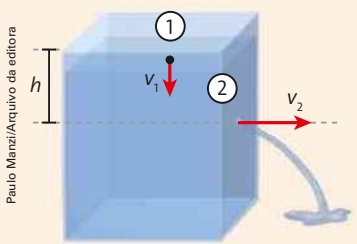
3. Um pequeno furo, situado a uma profundidade h, foi feito em um recipiente contendo água, conforme a figura abaixo.



A área do furo é muito menor que a área da secção transversal do recipiente. Com que velocidade a água emerge do furo?

Resolução:

Vamos considerar as regiões 1 e 2 do escoamento, conforme a figura a seguir.



Primeiro, vamos determinar a razão entre as velocidades v_1 e v_2. Pela equação da continuidade, temos:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Como a área da região 1 é muito maior que a do furo, podemos considerar que a velocidade v_1 é praticamente nula. Sendo assim, considerando $v_1 = 0$, vamos aplicar a equação de Bernoulli à situação proposta, observando que, tanto em 1 quanto em 2, a pressão é a atmosférica. Com isso, obtemos:

$$p_1 + \frac{\mu \cdot v_1^2}{2} + \mu \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \frac{\mu \cdot v_2^2}{2} + \mu \cdot g \cdot h_2$$

$$\cancel{p_{atm.}} + 0 + \mu \cdot g \cdot h_1 = \cancel{p_{atm.}} + \frac{\mu \cdot v_2^2}{2} + \mu \cdot g \cdot h_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \cancel{\mu} \cdot g \cdot h_1 = \frac{\cancel{\mu} \cdot v_2^2}{2} + \cancel{\mu} \cdot g \cdot h_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{v_2^2}{2} = g \cdot h_1 - g \cdot h_2 \Rightarrow v_2^2 = 2g \cdot (h_1 - h_2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_2^2 = 2g \cdot h \Rightarrow v_2 = \sqrt{2g \cdot h}$$

Observe que o resultado não depende da massa específica do líquido e é a mesma velocidade que um corpo atingiria em 2, em queda livre a partir de 1.

Veja sugestões e comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

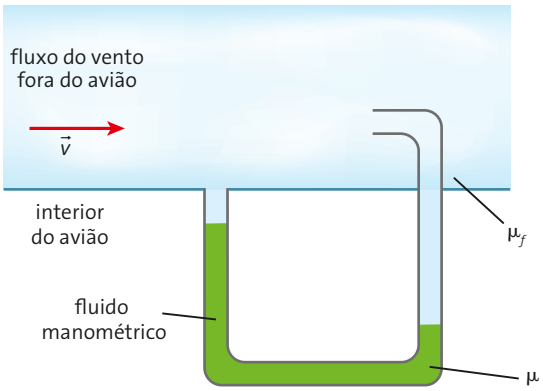
Tubo de Pitot

Uma medida importante em aviação é a velocidade da aeronave em relação ao ar. Se essa velocidade for muito baixa, a aeronave pode perder sustentação; se for muito alta, ela pode sofrer danos estruturais. Para fazer a medida da velocidade em relação ao ar, os aviões contam com um tubinho do lado de fora, dirigido contra o movimento do ar em relação ao avião. Esse dispositivo, conhecido como **tubo de Pitot**, é ligado a um tubo em U, ficando a outra extremidade desse tubo aberta para a atmosfera, conforme mostra a figura seguinte.

Brasil2/iStock/Getty Images



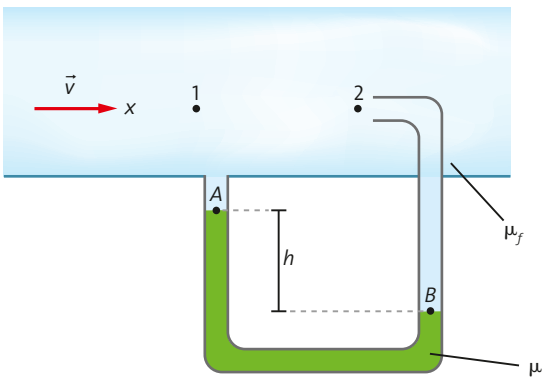
Tubo de Pitot em um avião.



Ilustrações: Banco de imagens/Arquivo da editora

Representação (sem escala e em cores fantasia) do tubo em U para medir a velocidade do ar.

O tubo em U funciona como manômetro. A densidade do fluido manométrico é μ e a do fluido (ar) é μ_f. Para determinar a velocidade do avião, basta medir o desnível h. Considere os pontos 1 e 2 do escoamento, conforme a figura seguinte.



Esquema (sem escala e em cores fantasia) para determinação da velocidade do avião a partir do tubo em U.

A velocidade do avião é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot h}{\mu_f}}$$

Esse arranjo pode ser utilizado também para obter a velocidade de um barco em relação à água.

Trabalho em equipe

Em grupo, utilizando as equações da continuidade e de Bernoulli e com base nas figuras do texto, demonstre a equação que permite o cálculo da velocidade da aeronave.

Exercícios

19. a) Na vazão constante vale $Q = v_A$ = constante. Caso ocorra redução da área A, haverá um aumento na velocidade do escoamento.

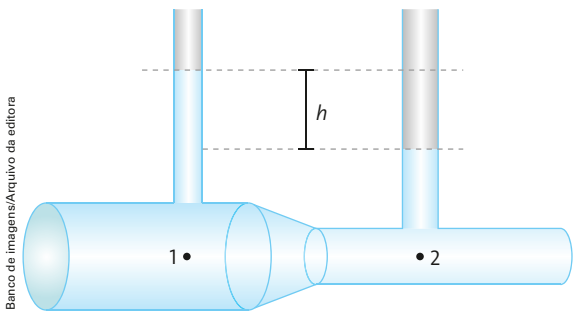
ATENÇÃO! Não escreva no seu livro!

18. Em razão de um vazamento, o nível de determinada caixa-d'água de secção uniforme vai baixando com velocidade constante. A área do furo é 10 000 vezes menor que a área da secção transversal da caixa, e o nível da caixa baixa 1 cm a cada 10 min. O nível da água com a caixa cheia é de 1,0 m. Adote $g = 10\ m/s^2$ e $\mu_{água} = 10^3\ kg/m^3$.

a) Com a caixa cheia, quanto tempo levará para o nível da água cair à metade? $\Delta t = 500\ min$

b) Qual é a velocidade da água na saída do vazamento? $v = 10\ m/min$

19. A figura a seguir ilustra (sem escala e em cores fantasia) o escoamento uniforme de água, considerada como um fluido ideal, por um tubo cuja secção transversal muda da região 1 para a região 2. O desnível de líquido, $h = 3$ cm, entre os tubos conectados ao escoamento mostra que a pressão na região 2 é menor.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Considere que a secção transversal na região 1 seja de 40 cm^2 e na região 2 seja de 10 cm^2. Adote $g = 10\ m/s^2$ e $\mu_{água} = 10^3\ kg/m^3$.

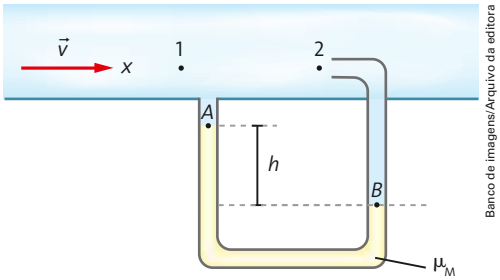
a) Observando que a vazão é a mesma em todas as secções transversais do tubo, o que acontece com a velocidade do escoamento quando a secção transversal diminui? b) $v_2 = 4v$

b) Se v é a velocidade do escoamento na região 1, qual é a velocidade do escoamento na região 2?

c) Qual é a vazão desse escoamento em L/s? 0,8 L/s

20. Ao embarcar em um avião, o passageiro observa, perto da cabine, um pequeno tubinho em forma de cachimbo fixado no teto da fuselagem. O comissário explica que aquele tubinho permite a medição da velocidade da aeronave em relação ao ar.

A figura seguinte ilustra o tubinho e o desnível h no tubo em U do líquido manométrico cuja densidade é μ_M.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Considere que o ar naquele local tenha densidade 1,36 kg/m^3, ou seja, muito menor do que a do líquido manométrico, que é 13,6 g/cm^3, e que o desnível do líquido manométrico, no momento da decolagem, seja de 5 cm. Adote $g = 10\ m/s^2$.

a) Qual é a diferença de pressão entre os pontos A e B? $\Delta p = 6\,800\ N/m^2$

b) Qual é a velocidade do avião no momento da decolagem? $v = 100\ m/s$

Responda às questões 21 e 22 baseando-se no texto a seguir.

De acordo com a equação de Bernoulli, nos escoamentos ideais, o valor de H (energia mecânica por unidade de volume) permanece constante. Por outro lado, nos escoamentos reais (dissipativos), a grandeza H diminui ao longo da tubulação, devido à ação do atrito entre o fluido e as paredes da tubulação e ao próprio atrito interno das partículas que compõem o fluido.

Mas, quando um fluido real atravessa uma bomba instalada no escoamento, cuja finalidade é realizar trabalho motor sobre o fluido, o valor de H aumenta.

Sendo a potência mecânica dada por $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$, no caso específico de uma bomba hidráulica, a potência pode ser obtida pela expressão:

$$P = Q \cdot \Delta H,$$

na qual Q é a vazão do escoamento e ΔH é a variação de energia por unidade de volume associada ao escoamento.

Um agricultor precisa irrigar uma plantação que está 50 m acima de um lago onde ele vai captar água. Para essa irrigação, ele necessita de uma vazão de 2 L/s, no mínimo. Considere que, tanto na entrada como na saída da tubulação, a velocidade e a pressão da água sejam as mesmas, devido à instalação de uma bomba que fornece energia para o escoamento. Dados: $\mu_{água} = 1000\ kg/m^3$ e $g = 10\ m/s^2$.

21. Qual é a variação na energia total por unidade de volume (ΔH) sofrida pelo fluido nesse processo? $\Delta H = 5{,}0 \cdot 10^5\ J/m^3$

22. Qual é a potência mínima da bomba instalada? $P = 10^3\ W = 1000\ W$

Experimento

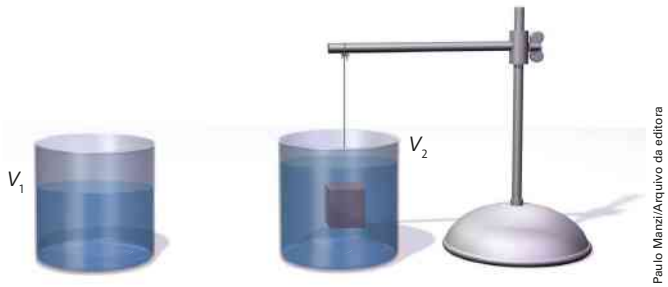
Veja comentários e respostas da atividade desta seção no Manual do Professor.

Princípio de Arquimedes

Nesta atividade experimental propomos um método para a verificação do princípio de Arquimedes. Para isso, vamos determinar o módulo do empuxo por dois processos diferentes e comparar os resultados utilizando um bloco, de qualquer formato, com densidade maior do que a densidade da água, um dinamômetro e um béquer graduado com água.

1º método: A ideia é efetuar duas medidas do peso do bloco: a primeira, com o bloco no ar, e a segunda, com o bloco totalmente imerso na água. Como você realiza essas medidas? Qual delas indica o peso real do bloco? E qual indica o peso aparente? Nessas condições é possível determinar o empuxo que a água exerce sobre o bloco?

2º método: Utilizando o béquer graduado em unidades de volume, como você determina o volume da água deslocada pelo objeto, com base nas figuras abaixo?



Paulo Manzi/Arquivo da editora

Representação (sem escala e em cores fantasia) do experimento.

Calcule o valor do empuxo por meio da equação:

$$E = \mu_a \cdot g \cdot V_{desloc.}$$

Utilize $g = 10\ m/s^3$ e $\mu_{água} = 10^3\ kg/m^3$.

Após a realização das medidas necessárias nos dois métodos, faça as atividades, justificando quando necessário.

1. Os valores obtidos para o empuxo pelos métodos 1 e 2 são iguais? Se não forem iguais, explique a diferença.
2. Por que o peso aparente do bloco é menor do que o peso real?
3. O que aconteceria se a densidade do bloco fosse menor do que a da água? Nesse caso, quais seriam os valores do peso real e do peso aparente do bloco?
4. Suponha que, em vez de água, o experimento seja realizado com óleo. Sendo a densidade do óleo menor do que a da água, copie a tabela abaixo em seu caderno e complete-a, indicando se os valores obtidos seriam maiores, menores ou iguais àqueles obtidos com a água.

Valores obtidos no experimento

Peso real	
Peso aparente	
Empuxo	
Volume do bloco	
Volume do óleo deslocado	

Em construção

Veja sugestões e comentários sobre esta seção no Manual do Professor.

A família Bernoulli e a hidrodinâmica

No campo das ciências e da matemática, a família Bernoulli é mundialmente conhecida, devido ao fato de ter dado ao mundo notáveis cientistas.

Em relação à hidrodinâmica, o nome de destaque é Daniel Bernoulli, que nasceu em 8 de fevereiro de 1700, em Groningen, na atual Holanda, e faleceu em 17 de março de 1782, na Basileia, na Suíça. Filho do matemático suíço Johann Bernoulli (1667-1748), que, juntamente com Newton e Leibniz, é considerado um dos fundadores do cálculo diferencial e integral, e sobrinho de Jacob Bernoulli (1655-1705), considerado o primeiro matemático a desenvolver o cálculo infinitesimal.

Daniel teve dois irmãos e uma irmã: Nicolau II Bernoulli (1695-1726), matemático com importantes contribuições nas equações diferenciais, na teoria das probabilidades e na álgebra; Johann II Bernoulli (1710-1790), que trabalhou com o pai na área de matemática e desenvolveu estudos na área de física, particularmente sobre o calor e a luz; e Anne Catherine Bernoulli (1698-1784).



Bettmann/Corbis/Latinstock

Retrato de Daniel Bernoulli (1700-1782).

Daniel desejava abraçar a carreira acadêmica, como seu pai. Assim, ele se candidatou três vezes a postos acadêmicos, em Anatomia, Botânica e finalmente em Lógica, não obtendo sucesso em nenhuma das tentativas. Desconsolado, seguiu para Veneza, para se aperfeiçoar em Medicina prática.

Em Veneza, Daniel trabalhou em parceria com Christian Goldbach (1690-1764) e publicou uma coleção de quatro volumes sobre exercícios em Matemática. Essa publicação lhe trouxe muita fama e o convite para, juntamente com seu irmão mais velho, trabalhar em São Petersburgo. Nessa cidade, realizou um trabalho em conjunto com Leonard Euler (1707-1783), que se estendeu de 1727 até 1733. Nesse período Daniel resolveu um dos mais famosos paradoxos nas leis das probabilidades, que ficou conhecido como "o paradoxo de São Petersburgo", e introduziu nas probabilidades dos jogos o conceito de "esperança moral".

Sem dúvida, o mais importante trabalho de Daniel Bernoulli em São Petersburgo foi no campo da Hidrodinâmica – sua famosa equação, que ele tentava aplicar ao fluxo sanguíneo no campo da Medicina. Daniel também estudou bombas e outras máquinas para elevação de água.

Em 1734, Daniel submeteu um trabalho à Academia de Paris, postulando aplicações de seus resultados matemáticos à Astronomia. Nessa ocasião, seu pai também havia apresentado um trabalho e o prêmio foi compartilhado pelos dois.

Em 1737, a Academia de Paris estabeleceu um prêmio para o melhor trabalho sobre um tema náutico: "a melhor forma para a âncora de um navio". Daniel novamente compartilhou o prêmio, dessa vez com Giovanni Poleni (1683-1761).

Seu livro *Hydrodynamica* foi publicado em 1738, mas no ano seguinte seu pai publicou *Hydraulica*, o qual era fortemente baseado no trabalho do filho. Entretanto, Johann aparentemente tentou falsear a data de publicação, apondo na capa o ano de 1732 em vez da data real – que foi, provavelmente, 1739. Não havia como o fato não vir à tona, o que contribuiu tanto para o descrédito do pai como para gerar suspeitas sobre o filho.

Em 1750, Daniel foi aceito na Universidade de Basileia para ensinar Física, o que fez durante 26 anos. No total, ele ganhou o grande prêmio da Academia de Paris dez vezes. Daniel Bernoulli teve o privilégio de ver o seu trabalho largamente reconhecido durante a vida, o que nem sempre acontece com os cientistas. Foi eleito para as mais prestigiadas academias de Ciências da época, como as de Bolonha, São Petersburgo, Berlim, Paris, Londres, Berna, Turim e Zurique.

Fonte dos dados: *MacTutor History of Mathematics Archive*. Disponível em: <www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Bernoulli_Daniel.html>. Acesso em: out. 2015.

Trabalho em equipe

Reúna-se em grupo e discuta sobre a ética na Ciência. Pesquise casos de plágios em trabalhos científicos e como a comunidade científica se posiciona sobre o assunto.

Retomando

23. (Enem) Certas ligas estanho-chumbo com composição específica formam um eutético simples, o que significa que uma liga com essas características se comporta como uma substância pura, com um ponto de fusão definido, no caso 183 °C. Essa é uma temperatura inferior mesmo ao ponto de fusão dos metais que compõem esta liga (o estanho puro funde a 232 °C e o chumbo puro a 320 °C), o que justifica sua ampla utilização na soldagem de componentes eletrônicos, em que o excesso de aquecimento deve sempre ser evitado. De acordo com as normas internacionais, os valores mínimo e máximo das densidades para essas ligas são de 8,74 g/mL e 8,82 g/mL, respectivamente. As densidades do estanho e do chumbo são 7,3 g/mL e 11,3 g/mL, respectivamente.

Um lote contendo cinco amostras de solda estanho-chumbo foi analisado por um técnico, por meio da determinação de sua composição percentual em massa, cujos resultados estão mostrados no quadro a seguir.

Amostra	Porcentagem de Sn (%)	Porcentagem de Pb (%)
I	60	40
II	62	38
III	95	35
IV	63	37
V	59	41

Disponível em: <www.eletrica.ufpr.br>. Acesso em: nov. 2012.

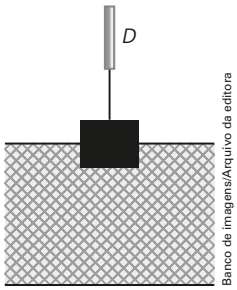
Com base no texto e na análise realizada pelo técnico, as amostras que atendem às normas internacionais são:

a) I e II.
b) I e III.
X c) II e IV.
d) III e V.
e) IV e V.

24. (Enem) Em um experimento realizado para determinar a densidade da água de um lago, foram utilizados alguns materiais conforme ilustrado: um dinamômetro *D* com graduação de 0 N a 50 N e um cubo maciço e homogêneo de 10 cm de aresta e 3 kg de massa. Inicialmente, foi conferida a calibração do dinamômetro, constatando-se a leitura de 30 N quando o cubo era preso ao dinamômetro e suspenso no ar. Ao mergulhar o cubo na água do lago, até que metade do seu volume ficasse submersa, for registrada a leitura de 24 N no dinamômetro.

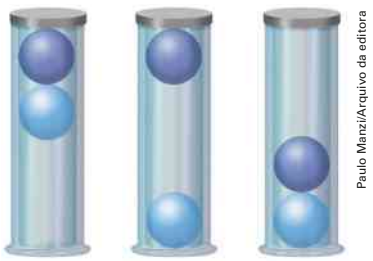
Considerando que a aceleração da gravidade local é de 10 m/s², a densidade da água do lago, em g/cm³, é:

a) 0,6.
X b) 1,2.
c) 1,5.
d) 2,4.
e) 4,8.



Banco de imagens/Arquivo da editora

25. (Enem) O controle de qualidade é uma exigência da sociedade moderna na qual os bens de consumo são produzidos em escala industrial. Nesse controle de qualidade são determinados parâmetros que permitem checar a qualidade de cada produto. O álcool combustível é um produto de amplo consumo muito adulterado, pois recebe adição de outros materiais para aumentar a margem de lucro de quem o comercializa. De acordo com a Agência Nacional de Petróleo (ANP), o álcool combustível deve ter densidade entre 0,805 g/cm³ e 0,811 g/cm³. Em algumas bombas de combustível a densidade do álcool pode ser verificada por meio de um densímetro similar ao desenhado abaixo, que consiste em duas bolas com valores de densidade diferentes que mostram quando o álcool está fora da faixa permitida. Na imagem, são apresentadas situações distintas para três amostras de álcool combustível.


amostra 1 amostra 2 amostra 3

Paulo Manzi/Arquivo da editora

A respeito das amostras ou do densímetro, pode-se afirmar que:

a) a densidade da bola escura deve ser igual a 0,811 g/cm³.
b) a amostra 1 possui densidade menor do que a permitida.
c) a bola clara tem densidade igual à densidade da bola escura.
X d) a amostra que está dentro do padrão estabelecido é a de número 2.
e) o sistema poderia ser feito com uma única bola de densidade entre 0,805 g/cm³ e 0,811 g/cm³.

Sistemas internos de distribuição

A nutrição celular proporciona o crescimento e a manutenção da vida de um organismo. Em animais de pequeno porte ou naqueles de corpo achatado, as células ficam tão próximas da superfície corporal que são suficientes as trocas por difusão entre os tecidos internos e o ambiente. Dessa forma, as células recebem gás oxigênio (O_2) e nutrientes; simultaneamente, eliminam gás carbônico (CO_2) e outros resíduos metabólicos. Em animais de grande porte, todavia, a maior distância entre os tecidos internos e a superfície corporal significa dificuldade na distribuição de substâncias (nutrientes, gases respiratórios, resíduos metabólicos, hormônios e anticorpos).

Muitos animais possuem sistemas internos de distribuição. O fluido circulante – o **sangue** – põe em comunicação os tecidos e superfícies especializadas que absorvem nutrientes, trocam gases ou eliminam resíduos.

O sangue circula pelo **sistema cardiovascular**, que participa do transporte de gases, nutrientes, resíduos, hormônios e componentes do sistema de defesa (como os anticorpos), além de contribuir na distribuição de calor. Os componentes do sistema cardiovascular são o **coração** e os **vasos sanguíneos**.

O coração é um órgão muscular oco que, contraindo-se, impulsiona o sangue pelos vasos sanguíneos. Cada contração do coração chama-se **sístole**, que, durante um ciclo cardíaco, é a fase de esvaziamento. O relaxamento do coração, que acontece entre as sístoles, é a **diástole**, que corresponde à fase de enchimento.

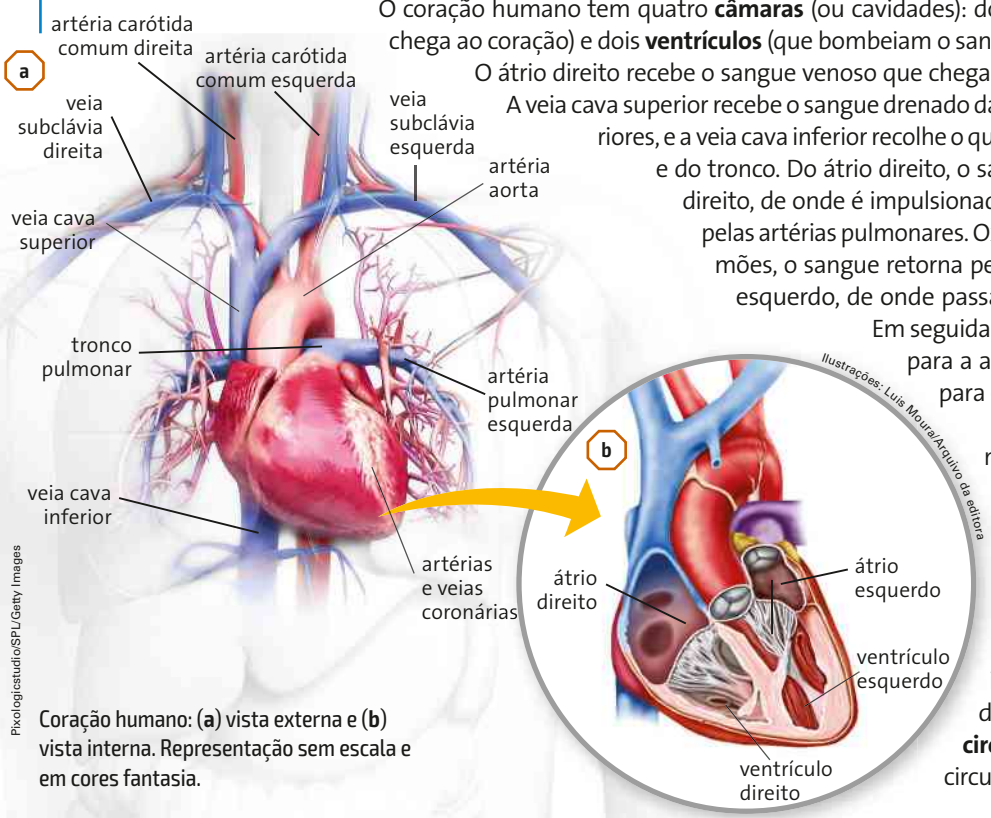
Existem três tipos de vasos sanguíneos:

- **Artérias**. Vasos pelos quais o sangue flui do coração para os tecidos do corpo sob alta pressão. Suas paredes são espessas e ricas em fibras elásticas e músculo liso. As artérias pulsam quando distendidas pelo sangue, impulsionado pelos batimentos cardíacos.
- **Veias**. Por esses vasos, o sangue flui dos tecidos para o coração. Suas paredes são menos espessas, com menos células musculares e fibras elásticas, e mais colágeno. No interior de veias, existem válvulas que impedem o refluxo do sangue.
- **Capilares**. São vasos de finíssimo calibre, representando o único território do sistema cardiovascular em que acontecem trocas entre o sangue e os tecidos. A parede dos capilares é formada por uma única camada de células, facilitando o intercâmbio de substâncias.

O coração humano tem quatro **câmaras** (ou cavidades): dois **átrios** (nos quais o sangue chega ao coração) e dois **ventrículos** (que bombeiam o sangue para fora do coração).

O átrio direito recebe o sangue venoso que chega dos tecidos pelas veias cavas. A veia cava superior recebe o sangue drenado da cabeça e dos membros superiores, e a veia cava inferior recolhe o que vem dos membros inferiores e do tronco. Do átrio direito, o sangue passa para o ventrículo direito, de onde é impulsionado para os pulmões, passando pelas artérias pulmonares. Oxigenado em capilares dos pulmões, o sangue retorna pelas veias pulmonares ao átrio esquerdo, de onde passa para o ventrículo esquerdo. Em seguida, é bombeado sob alta pressão para a artéria aorta, de onde se dirige para os tecidos.

O ventrículo esquerdo é a câmara cardíaca com parede muscular mais espessa e vigorosa. Enquanto o ventrículo direito impulsiona o sangue para os pulmões pela **circulação pulmonar** (ou pequena circulação), o ventrículo esquerdo o impulsiona para todos os demais tecidos do corpo pela **circulação sistêmica** (ou grande circulação), sob pressão bem maior.



Pixologicstudio/SPL/Getty Images

Ilustrações: Luis Moura/Arquivo da editora

Coração humano: (**a**) vista externa e (**b**) vista interna. Representação sem escala e em cores fantasia.

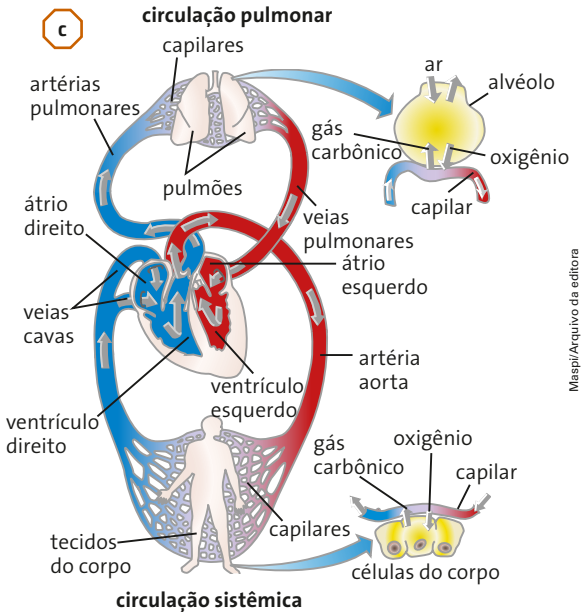
ATENÇÃO!
Não escreva no seu livro!

Durante a sístole ventricular, a pressão nas artérias alcança seu valor máximo (**pressão sistólica** ou máxima). Na circulação sistêmica, a pressão sistólica equivale, em média, à pressão exercida por uma coluna de 120 mm de mercúrio (120 mmHg). Na diástole, a pressão diminui (**pressão diastólica** ou mínima), pois o ventrículo esquerdo está relaxado. Nesta fase do ciclo cardíaco, a pressão no interior das artérias equivale, em média, à pressão de uma coluna de 80 mm de mercúrio (80 mmHg).

Para medir a **pressão arterial** na circulação sistêmica (nas artérias dos braços, por exemplo), usa-se o esfigmomanômetro, que consiste em um manômetro conectado a um manguito (braçadeira) inflável, de borracha.

É importante que a pressão arterial seja avaliada regularmente (pelo menos uma vez por ano). De acordo com a Sociedade Brasileira de Hipertensão, considera-se normal a pressão arterial cujos valores são inferiores a 130 mmHg por 85 mmHg, ou seja, pressão sistólica de, no máximo, 130 milímetros de mercúrio e pressão diastólica de, no máximo, 85 milímetros de mercúrio.

José Arnaldo Favaretto, médico e professor de Biologia.



Maspi/Arquivo da editora

Representação esquemática (sem escala e em cores fantasia) da circulação pulmonar e da circulação sistêmica.

Trabalho com o texto

Veja respostas das atividades desta seção no Manual do Professor.

1. a) Qual é a função do sistema cardiovascular?
   b) Se o sistema cardiovascular é hermeticamente fechado, onde ocorrem as trocas entre o sangue e os tecidos?
2. Considerando que a densidade do mercúrio é 13,6 g/cm³ e a aceleração da gravidade é 9,8 m/s², quais são os valores das pressões manométricas durante a sístole e a diástole em unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI)?
3. Considere os seguintes dados: o raio da artéria aorta é cerca de 1 cm, e o sangue flui através dela com uma velocidade de, aproximadamente, 30 cm/s. O raio de um capilar é da ordem de 4 mm ($4 \cdot 10^{-6}$ m), e o sangue flui através dele com uma velocidade da ordem de $5 \cdot 10^{-4}$ m/s. Nessas condições:
   a) Qual é a vazão através da artéria aorta? Dê a resposta em milímetros cúbicos por segundo e em litros por minuto.
   b) Em média, qual é a vazão, em litros por minuto, através de um capilar?

Pesquise e discuta

4. Faça uma estimativa do número de capilares existentes no corpo humano.
5. Faça uma pesquisa sobre o funcionamento do esfigmomanômetro, utilizado para medir a pressão arterial de uma pessoa (figura).
6. O coração funciona como uma bomba. Sabendo-se que a potência de uma bomba é dada pelo produto da vazão pela variação de energia por unidade de volume associada a um escoamento, e de acordo com os resultados obtidos nas questões 2 e 3, faça uma estimativa da potência útil do coração.
7. Como o coração consegue aumentar a potência para que a pessoa possa fazer um exercício físico vigoroso?
8. Faça uma pesquisa sobre os riscos da hipertensão e sobre a importância da doação de sangue. Apresente as informações em um cartaz.



Wellenrock/Shutterstock/Glow Images

Esfigmomanômetro.

Respostas

Unidade 1
Apresentação da Física

Capítulo 1 · Física: uma ciência da natureza

2. Arco-íris: Física. A reflexão e refração nas gotas de chuva são estudadas na Óptica Geométrica. O mesmo fenômeno está presente em pinturas, histórias e lendas.
Fotossíntese: Biologia, área da botânica. Mas, o fenômeno envolve processos químicos e físicos, como as reações de oxirredução (Química) e a interação da luz com a matéria (Física).
Ozônio: Química. O fenômeno também é estudado na Biologia (impactos ambientais) e na Meteorologia (influências no perfil de temperaturas na atmosfera).

3. Bioquímica.

4. Exemplos: Física, Biologia e esportes.

5. Respostas possíveis: fita métrica, voltímetro, termômetro, hodômetro, entre outros.

6. a) $m = 1{,}8$ kg
b) $m = 5$ kg
c) Como os dois corpos de 3 kg estão simétricos em relação ao ponto que dista 4 unidades do pivô, isso é equivalente a um corpo de 6 kg nesse ponto, que é simétrico de *A*.

7. Alternativa **b**.

8. Resposta pessoal.

Capítulo 2 · Grandezas e sistemas de unidades

1. a) Não é possível avaliar se o clima estará quente ou frio, pois falta a unidade.
b) $T = 5$ °C

2. A escolha está correta.

3. Alternativa **b**.

4. a)

País	População (habitantes)	Área (km^2)
Brasil	$2{,}020 \cdot 10^8$	$8{,}5 \cdot 10^6$
China	$1{,}393 \cdot 10^9$	$9{,}6 \cdot 10^6$
Cingapura	$5{,}517 \cdot 10^6$	$7{,}10 \cdot 10^2$

b) Brasil: 23,8 hab./km^2,
China: 145 hab./km^2,
Cingapura: 7770 hab./km^2

5. $P_{rest.} = 6{,}56 \cdot 10^9$ habitantes.

6. Prod. $= 6{,}3 \cdot 10^7$ barris

7. Itens incorretos: **I** e **III**.

8. Alternativa **b**.

9. a) Um retângulo com: 7,0 cm de frente, com recuo de 1,5 cm em cada lateral; 19 cm de fundo com recuo de 4 cm, 2 cm de frente e 2 cm no fundo.
b) $A_{máx} = 133$ cm^2

10. a) R$ 25,92
b) R$ 4,85

11. Alternativa **d**.

12. $t = 1$ h 50 min

13. a) $d = 3{,}26 \cdot 10^{14}$ km
b) $t = 32{,}6$ anos

14. a) $1 \text{ kg} = 10^3$ g
b) $m = 0{,}8$ kg

15. Consumo: $2{,}16 \cdot 10^7$ kwh; ordem de grandeza: 10^7.

16. $n = 2 \cdot 10^5$ voltas

17. $x = 10^{15}$ bactérias

18. Alternativa **c**.

19. Alternativa **b**.

20. Alternativa **c**.

21. Alternativa **c**.

22. Alternativa **e**.

Unidade 2
O estudo dos movimentos

Capítulo 3 · Movimentos em uma dimensão

1. Para cima: movimento forçado (violento). Descida: movimento natural.

3. Correta: **IV**.

4. Sudoeste, noroeste, leste.

5. Alternativa **d**.

6. Depende do referencial. Para Heloisa, todos os passageiros estão em repouso; o que está fora do ônibus está em movimento. Para Abelardo, o ônibus e os passageiros dentro dele estão em movimento.

7. Correta: **I**.

8. $v_m = 12$ m/s

9. O limite foi excedido.

10. $\Delta t = 6{,}5$ min

11. Itens corretos **I** e **II**.

12. Alternativa **c**.

13. Alternativa **a**.

14. Alternativa **a**.

15. a) $\Delta t = 38{,}1$ s
b) $v = 141{,}8$ m/s

16. $\Delta t = 12$ min

17. $d = 12{,}5$ m

18. $\Delta t = 30$ min

19. a) Sentidos contrários.
b) Encontro: $t = 10$ s a 100 m da origem.
c) $v_A = 10$ m/s e $v_B = -5$ m/s

20. a) Sentidos contrários.
b) Atleta *A*.

21. Alternativa **d**.

22. a) Entre 0 e 6 s: uniformemente acelerado; entre 10 s e 16 s: retardado de modo não uniforme.
b) $a = 2$ m/s^2

23. b) $d = 150$ m

24. a) A velocidade se manteria constante.
b) $\Delta S = 500$ m

25. b) A distância entre eles é zero.

26. Alternativa **c**.

27. a) $|g| = 10$ m/s^2
b) $t = 3{,}0$ s
c) $t = 6{,}0$ s
d) $h = 45$ m

28. Permanece constante.

29. a) $\Delta t_{ônibus} = 8$ h; $\Delta t_{automóvel} = 6$ h
b) $d_{automóvel} = 386$ km; $d_{ônibus} = 154$ km

30. Alternativa **b**.

31. Alternativa **d**.

32. $v_{máx} = 72$ km/h

Capítulo 4 · Movimentos em duas dimensões

1. Escalares: temperatura, distância percorrida, área e volume. Vetoriais: força, deslocamento, velocidade e aceleração.

2. Sim.

3. Não.

4. Distância: 1200 m; deslocamento: 632 m.

5. b) $d_{perc.} = 1400$ m; $d_R = 1000$ m

6. a) 390 km/h
b) 300 km

7. Alternativa **d**.

8. a) 1100 m
b) 500 m
c) 25 m/min

9. Alternativa **c**.

10. a) Sim; $v = 40$ m/s
b) $a = 400$ m/s²

11. a) Em todas.
b) Reta das Arquibancadas, Curva do Sol e Reta Oposta.
c) Curvas do Sol e do Laranja.

12. a) Anti-horário.
b) Três voltas.

13. $v = 120$ m/s

14. a) Menor.
b) $v_R = 110$ km/h

15. $\omega_A = \omega_B$ e $v_A > v_B$

16. a) Horário.
b) 5 rps e 25 rps

17. Alternativa **d**.

18. Conseguirá vencer.

20. Alternativa **d**.

21. Alternativa **d**.

22. Alternativa **a**.

Capítulo 5 · As leis de Newton para os movimentos

1. Na natureza, as forças agem aos pares, sendo fruto da interação entre dois corpos e atuando simultaneamente em ambos.

2. $F = 40$ N

3. Gravitacional e eletrofraca.

4. a) A força de contato que é, em módulo, igual ao módulo da força peso.

5. a) Forças peso e contato; forças peso, contato e aplicada.
b) Deve ser maior que 60 N.

6. Alternativa **c**.

7. a) 100 N
b) Continua indicando 100 N: o par de forças é aplicado, em uma das extremidades, pelo bloco suspenso e, na outra extremidade, pela parede.

8. a) Forças peso e tração; 200 N.
b) A corrente está tracionada: o par de forças é aplicado, uma delas pelo lustre e, a outra, pelo teto da sala. A tração é 200 N.

9. b) $T = F_e = 20$ N

10. A velocidade permanece constante.

11. a) Não é possível dizer se o trem está parado ou em movimento.
b) O fio se inclina.
c) Não permanece na mesma posição.

12. a) Não existe força resultante.
b) Podem existir forças agindo sobre o corpo, desde que a força resultante seja nula.

13. a) Apenas em relação ao solo.
c) Não.

14. A do caminhão é maior.

15. Somente **I** e **III** são corretas.

16. $F = 3 \cdot 10^3$ N, ordem de grandeza é 10^3.

17. A função do *airbag* é aumentar o intervalo de tempo de colisão entre o passageiro e o carro, reduzindo proporcionalmente a intensidade da força que age no passageiro.

19. I. Incorreta; II. Incorreta; III. Correta; IV. Incorreta; V. Correta.

20. Alternativa **b**.

21. Igual nos dois; o automóvel.

24. Alternativa **d**.

25. Alternativa **a**.

26. Alternativa **a**.

Capítulo 6 · Aplicações das leis de Newton

1. a) Iguais.
b) Iguais.
c) $F_A > T$

2. Itens corretos: **II**, **III** e **IV**.

3. a) Polia 1: fixa. Polias 2 e 3: móveis.
b) $F = 25$ N
c) Vantagem: 4

4. $h = 8{,}0$ m

6. b) $a = 2{,}6$ m/s²

7. a) $F = 340$ N
b) Desce a rampa.

8. a) Resistência do ar, densidade, área e velocidade.
b) A velocidade aumenta até atingir a velocidade terminal que é mantida constante até o corpo atingir o solo.

9. Alternativa **b**.

10. a) A força gravitacional faz o papel de resultante centrípeta.
b) O satélite continua em movimento uniforme, mas em trajetória retilínea.

11. b) É praticamente constante e igual a 0,70.

12. As três afirmativas são falsas.

13. Somente **II** está correta.

14. a) No ponto *A*.
b) No ponto *A*.

15. Itens corretos: **I**, **III** e **IV**.

16. a) $f_1 = F \cdot \dfrac{m_1 + m_2}{m_1 + m_2 + m}$
b) 30 m/s

17. Alternativa **e**.

Unidade 3
Energia e as leis da conservação

Capítulo 7 · Energia: trabalho e potência

2. Alternativa **a**.

3. a) Energia potencial (elástica).
b) Energia cinética.

4. a) Não.
b) É transformada em energia térmica.

5. a) Energia cinética.
b) Energia potencial.
c) Durante a queda, a única força que age no corpo é a força peso, que realiza trabalho motor.

6. a) Sim, trabalho resistente.
b) Maior massa.

7. a) Forças: peso, contato, resistência do ar e motora. Realizam trabalho: força do motor (trabalho motor) e resistência do ar (trabalho resistente).
b) Realizam trabalho: força peso (trabalho motor), força do motor e resistência do ar (trabalho resistente).

8. a) A força F e a força de atrito.
b) $\tau_N = \tau_P = 0$; $\tau_F = 400$ J; $\tau_A = -250$ J

9. a) Força produzida pela equipe de cachorros (trabalho motor) e força de atrito (trabalho resistente).
b) $\tau_{F(\text{cach.})} = 1000$ J

10. a) Motor *C*.
b) Motor *B*.

11. Não.

12. a) $\tau = 2 \cdot 10^6$ J
b) Consumo igual a $5 \cdot 10^6$ J

13. a) 80 cavalos típicos.
b) $m = 7500$ kg

14. Alternativa **c**.

15. Alternativa **c**.

16. Alternativa **b**.

17. a) Igual.
b) Igual.

18. a) $E = 20\,000$ J
b) $E = 80\,000$ J

19. Energia potencial gravitacional; energia potencial elástica e energia cinética.

20. a) $E_C = 2 \cdot 10^4$ J
b) $E = 6 \cdot 10^4$ J
c) Ponto 2.

21. $v = 36$ km/h

22. Alternativa **b**.

23. a) $v_{máx} = 9{,}0$ m/s
b) $\Delta E = 75\%$

24. $\Delta E = 120$ J

25. Alternativa **c**.

26. Alternativa **d**.

27. a) Sim.
b) $v = 10$ m/s
c) $E_C = 2400$ J

28. a) $v = 6{,}3$ m/s
b) $h_A = 35$ m

29. a) $\tau = 633$ J
b) $\Delta E_{PG} = 408$ J

30. Alternativa **d**.

Capítulo 8 · Quantidade de movimento

2. Sim; $\Delta Q = 14$ kg · m/s.

3. a) $h = 20$ m
b) $Q_i = 0$; $Q_f = 20$ kg · m/s

4. a) Não são iguais.
b) $\Delta Q = \sqrt{2}\, m \cdot v$

5. a) Ambos sofrem a mesma variação de quantidade de movimento.

6. $F_{e\text{méd}} = 1250$ N

7. Item **III** correto.

9. a) Não, de nenhuma delas.
b) Sim, a quantidade de movimento total do sistema é conservada.

10. Alternativa **c**.

11. a) A canoa também se movimenta.
b) O centro de massa do sistema permanece fixo.

12. a) Sim.
b) A v_{CM} permanece constante, pois o sistema é isolado.
c) $v_{CM} = 0{,}1$ m/s

13. $v_{CM(\text{horiz.})} = 2{,}5$ m/s; $v_{CM(\text{vert.})} = 0$.

14. a) $x_{CM} = 88{,}7$ m
b) $v_{CM} = 54{,}4$ km/h
c) $Q_{\text{sist.}} = 8{,}6 \cdot 10^4$ kg · m/s

15. $v'_c = 38{,}3$ km/h

16. a) Lei da conservação da quantidade de movimento linear.
b) $v_{\text{conj.}} = \frac{v}{2}$

17. a) $v'_1 = 8{,}6$ m/s
b) Elástico. As massas são iguais e os ângulos α e β são complementares ($\alpha + \beta = 90°$).

18. Itens **a** e **b**: A inércia rotacional é maior na segunda posição, nesta é mais fácil equilibrar o martelo.

20. a) Não está em equilíbrio.
b) Sim; a 132,5 cm à direita do apoio.

21. a) Posição **a**.
b) Posição **b**.

24. Alternativa **c**.

25. Aceleração aumenta.

26. a) A energia cinética do sistema após o choque pode ser zero, mas antes do choque ela deve ser diferente de zero.
b) Quantidade de movimento total do sistema pode ser nula antes e depois do choque.

27. Alternativa **a**.

28. Setor **II**.

Capítulo 9 · O Sistema Solar e a Terra

1. a) $\Delta t = 4$ h 10 min
b) $d = 9{,}3$ mm

2. V V F V V F V

3. Alternativa **a**.

4. a) $I_M = 0{,}24$ anos $= 89$ dias.
b) O total de anos em Marte seria menor do que a idade atual na Terra.

6. Alternativa **b**.

7. Isso ocorre por causa da diminuição do módulo do campo gravitacional com o aumento da distância ao centro da Terra.

10. a) Vênus.
b) Júpiter.

11. a) $v = 27\,000$ km/h
b) $t = 1$ h 39 min

12. Alternativa **d**.

13. a) $v = 17{,}3$ m/s ou 62,3 km/h
b) $t = 2$ h

14. a) Ponto *A* (periélio).
b) Ponto *C*.
c) A energia mecânica é a mesma em todos os pontos.

15. Alternativa **e**.

16. Alternativa **d**.

17. Alternativa **a**.

Unidade 4 · O ser humano e as máquinas

Capítulo 10 · Estática dos corpos rígidos – Máquinas simples

1. a) Máximo: 90°; mínimo: 0°.
b) $M = 70$ N · m

2. a) $m = 36$ kg
b) $x = 1$ m

3. Alternativa **d**.

4. Alternativa **c**.

5. a) Alavanca interfixa.

b) Desprezando-se o peso da barra que constitui a alavanca, o módulo da força aplicada (F_p) por Pedro é menor do que o módulo da força peso (P_c) das cargas.

6. a) Alavanca inter-resistente.
b) Desprezando-se o peso da barra que constitui a alavanca, o módulo da força aplicada (F_p) por Mateus é menor do que o módulo da força peso (P_c) das cargas.

7. a) $M_C = 16\ N \cdot m$
b) $F = 800\ N$

8. $F = 85{,}7\ N$

9. 140 km/h

10. a) $F_P = 150\ N$ e $F_M = 450\ N$.
b) Deslocando o *CM* para trás, aumenta a vantagem mecânica, ou seja, aproximando o tronco dos pés, dobrando os joelhos.
c) Tríceps.

11. As três afirmativas são incorretas.

12. Soma: 13

13. Alternativa **a**.

14. $F_m = 800\ N$

15. Alternativa **b**.

16. Alternativa **e**.

17. Alternativa **c**.

18. a) $T = 75\ N$
b) $m = 15\ kg$

Capítulo 11 · Fluidos

1. Alternativa **e**.

2. Alternativa **a**.

3. Alternativa **c**.

4. a) $A_n / A_c = 9$
b) Não, pois continua tendo a intensidade do próprio peso da pessoa.

7. a) $h = 1{,}58\ m$
b) Não, a pressão não é suficiente.

8. $h = 50\ cm$

9. a) $\Delta p_{ar} = 0{,}1\ atm$
b) $\Delta p = 0{,}02\ atm$

10. a) É a mesma nos três manômetros; é igual à pressão atmosférica no local onde estão.
b) $p_1 > p_2 > p_3$

11. $\Delta p = 0{,}2\ atm$

12. a) $\frac{\mu_B}{\mu_A} = 1{,}5$
b) $\mu = 1{,}5\ g/cm^3$

13. Alternativa **c**.

14. a) $p_D = p_B > p_{atm}$
b) O líquido escoa.
c) $h < 10\ m$

15. Abrir a válvula situada na parte inferior da figura, permitindo o retorno do óleo.

16. Alternativa **d**.

17. $m_p = 60\ kg$

18. a) $\Delta t = 500\ min$
b) $v = 10\ m/min$

19. a) Aumenta.
b) $v_2 = 4v$
c) 0,8 L/s

20. a) $\Delta p = 6\,800\ N/m^2$
b) $v = 100\ m/s$

21. $\Delta H = 5{,}0 \cdot 10^5\ J/m^3$

22. $P = 10^3\ W = 1000W$

23. Alternativa **c**.

24. Alternativa **b**.

25. Alternativa **d**.

Siglas de vestibulares

Acafe-SC: Associação Catarinense das Fundações Educacionais (Santa Catarina)
Cesumar-PR: Centro de Ensino Superior Universitário de Maringá (Paraná)
Enem: Exame Nacional do Ensino Médio
Etec-SP: Escola Técnica Estadual (São Paulo)
Fuvest-SP: Fundação Universitária para o Vestibular (São Paulo)
Mack-SP: Universidade Presbiteriana Mackenzie (São Paulo) [atual **UPM-SP**]
Pisa-Inep: *Programme for International Student Assessment* (Programa Internacional de Avaliação de Estudantes) – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
UEA-AM: Universidade do Estado do Amazonas
UEFS-BA: Universidade Estadual de Feira de Santana (Bahia)
UEM-PR: Universidade Estadual de Maringá (Paraná)
Uepa: Universidade do Estado do Pará
UEPB: Universidade Estadual da Paraíba
Ufam: Universidade Federal do Amazonas
UFBA: Universidade Federal da Bahia
Ufla/PAS-MG: Universidade Federal de Lavras/Processo de Avaliação Seriada (Minas Gerais)
UFPB: Universidade Federal da Paraíba
UFPR: Universidade Federal do Paraná
UFTM-MG: Universidade Federal do Triângulo Mineiro (Minas Gerais) [antiga **FMTM-MG**]
Unicamp-SP: Universidade Estadual de Campinas (São Paulo)
Unicastelo-SP: Universidade Camilo Castelo Branco de São Paulo
Vunesp-SP: Fundação para o Vestibular da Unesp (São Paulo)

Sugestões de leitura e *sites*

A lista apresentada a seguir é sugerida para tentar ampliar seus conhecimentos e incentivá-lo a fazer outras leituras além do livro didático.
Boa leitura!

- A CIÊNCIA na Antiguidade. *Scientific American Brasil:* História da ciência. São Paulo, n. 3, Duetto. Mesopotâmios, egípcios e gregos começaram a observar o mundo com olhos críticos, e sua curiosidade levou aos primeiros progressos científicos da humanidade.
- A CIÊNCIA na Era dos Inventores. *Scientific American Brasil:* História da ciência. São Paulo, n. 4, Duetto. No entusiasmo da Revolução Industrial, uma geração de cientistas criou engenhocas que mudaram o mundo. Conheça esses homens extraordinários e suas máquinas maravilhosas.
- A CIÊNCIA na Idade Média. *Scientific American Brasil:* História da ciência. São Paulo, n. 1, Duetto. Com uma série de artigos, é apresentado um surpreendente panorama da extraordinária riqueza da produção científica medieval.
- A CIÊNCIA no Renascimento. *Scientific American Brasil:* História da ciência. São Paulo, n. 1, Duetto. Esta edição apresenta a redescoberta de valores da Antiguidade aliada à explosão de pesquisas em várias áreas, que fincam as raízes do conhecimento moderno.
- ACZEL, A. D. *Bússola:* a invenção que mudou o mundo. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002. O autor conta a história da bússola, considerada por muitos a invenção mais importante depois da roda.
- ARISTÓTELES: O pai de todas as Ciências. *Scientific American Brasil:* Gênios da Ciência. São Paulo, n. 6, 2. ed., Duetto. A edição apresenta artigos sobre a vida e a obra de Aristóteles.
- ARQUIMEDES: Pioneiro da Matemática. *Scientific American Brasil:* Gênios da Ciência. São Paulo, n. 5, 2. ed., Duetto. Esta edição apresenta a vida e a obra de Arquimedes.
- BAEYER, H. C. V. *Arco-íris, flocos de neve,* quarks*:* a Física e o mundo que nos rodeia. Rio de Janeiro: Campus, 1994. Um físico expõe com elegância a forma pela qual fenômenos corriqueiros revelam a complexa e profunda beleza do mundo natural.
- BARRETO, P. S. *Laboratório do mundo:* ideias e saberes do século XVIII. São Paulo: Pinacoteca – Imprensa Oficial do Estado, 2004. Trata-se de um catálogo ilustrado e explicado de uma exposição realizada na Pinacoteca do Estado de São Paulo, em 2004, contendo peças do acervo dos principais polos de ciência de Portugal, no século XVIII. As grandes realizações científicas da época, sementes do desenvolvimento tecnológico e científico atual, estão explicadas e contextualizadas historicamente.
- BRENNAN, R. *Gigantes da Física*: uma história da Física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998. O livro apresenta as biografias de: 1. Isaac Newton; 2. Albert Einstein; 3. Max Planck; 4. Ernest Rutherford; 5. Niels Bohr; 6. Werner Heisenberg; 7. Richard Feynman; 8. Murray Gell-Mann.
- CHERMAN, A.; VIEIRA, F. *O tempo que o tempo tem*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008. O livro mostra como a Astronomia está na origem de todas as medidas de tempo e conta a história dos diversos calendários usados em diferentes sociedades.
- EINSTEIN: O homem além do mito. *Scientific American Brasil:* Gênios da Ciência. São Paulo, n. 1, 2. ed., Duetto. Esta edição apresenta a vida e a obra de Albert Einstein.
- GALILEU: O ombro gigante da Física. *Scientific American Brasil:* Gênios da Ciência. São Paulo, n. 3, 2. ed., Duetto. Esta edição apresenta a vida e a obra de Galileu Galilei.
- GLEISER, M. *A dança do Universo:* dos mitos de Criação ao big-bang. São Paulo: Companhia das Letras, 1997. O livro analisa as teorias propostas para explicar as origens do Universo, desde os gregos antigos, passando por Copérnico, Galileu, Kepler e Newton, até os tempos modernos com a teoria da relatividade.
- _____. *Retalhos cósmicos*. São Paulo: Companhia das Letras, 1999. O livro apresenta cinquenta textos, publicados originalmente no jornal *Folha de S.Paulo* e reelaborados para edição em livro, que refletem uma convicção forte do autor: a livre circulação das informações é condição para o exercício da cidadania.
- GRIBBIN, J. *A morte do Sol*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1983. O livro analisa o nascimento, a vida e a morte de uma estrela – o Sol – e suas consequências para a vida na Terra.
- HART-DAVIS, A. *160 séculos de ciência*. São Paulo: Duetto, 2010. Vol. 1 – Aurora da ciência: Pré-História a 1500. Vol. 2 – Renascimento e Iluminismo: 1500-1700. Vol. 3 – Revolução Industrial: 1700-1890. Vol. 4 – O conhecimento das nossas origens: o impacto de Darwin.
- MARTINS, Jader B. *A vitória de Galileu:* a luta contra o obscurantismo. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008. O autor conta sobre Galileu, o período histórico em que viveu e os homens que foram seus companheiros científicos, que viveram em épocas diferentes, mas que tinham seus pensamentos colimados pelo heliocentrismo.
- NEWTON: O pai da Física moderna. *Scientific American Brasil:* Gênios da Ciência. São Paulo, n. 7, 2. ed., Duetto. Esta edição apresenta a vida e a obra de Newton.
- NOVAS luzes sobre o Sistema Solar. *Scientific American Brasil*. Edição especial. São Paulo, n. 9, Duetto. Vênus, Marte, Terra e Júpiter são alguns dos assuntos destacados nesta edição.
- RIVAL, M. *Os grandes experimentos científicos*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997. O autor apresenta 41 experimentos científicos; dentre eles, a medição do raio da Terra por Eratóstenes, no século III a.C., a medida da velocidade da luz, em 1676, e a caça às ondas gravitacionais, em 1958.
- ROONEY, Anne. *A história da Física*. São Paulo: M. Books do Brasil, 2013. O livro traça a trajetória das tentativas da humanidade em ler o livro do Universo, aprendendo e usando a linguagem da Matemática. Revela, também, como nosso conhecimento é ínfimo – a Física trata de apenas 4% do Universo; os outros 96% são um mistério a ser revelado.
- SIMAAN, A.; FONTAINE J. *A imagem do mundo:* dos babilônios a Newton. São Paulo: Companhia das Letras, 2003. O livro apresenta a história da ciência tendo como eixo a Astronomia, desde os primeiros observadores do céu até os fundadores da ciência moderna.
- STEPHEN Hawking: O triunfo da mente. *Scientific American Brasil:* Gênios da Ciência. São Paulo, n. 2, 2. ed., Duetto. Esta edição apresenta as obras e as ideias de Stephen Hawking.

Páginas indicadas para pesquisa e consulta

- A Física na Escola: <www.sbfisica.org.br/fne/>.
- Associação Brasileira de Energia Nuclear: <www.aben.com.br/>.
- Caderno Brasileiro de Ensino de Física: <www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>.
- Ciência Hoje: <http://cienciahoje.uol.com.br/>.
- Comissão Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq): <www.cnpq.br>.
- Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN): <www.cnen.gov.br>.
- Estação Ciência:<www.eciencia.usp.br>.
- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN): <www.ipen.br>.
- Ministério da Educação (MEC): <www.mec.gov.br>.
- Revista Brasileira de Ensino de Física: <www.scielo.br/rbef>.
- Scientific American Brasil: <www.sciam.com.br>.
- Sociedade Brasileira de Física: <www.sbfisica.org.br>.
- Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência: <www.sbpcnet.org.br>.

Acessos em: 14 out. 2015.

Bibliografia

BASSALO, J. M. F. *Nascimentos da Física*. Belém: Ed. da UFPA, [s.d.]. 3 v. I: 3500 a.C.-1900 a.D. (1996); II: 1901-1950 (2000); III: 1951-1970 (2005).

CHERMAN, A.; VIEIRA, F. *O tempo que o tempo tem*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008.

CHESMAN, C.; ANDRÉ, C.; MACÊDO, A. *Física moderna:* experimental e aplicada. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. *Evolução da Física*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.

FEYNMAN, R.; LEIGHTON, R.; SANDS, M. *Lições de Física de Feynman*. São Paulo: Artmed, 2008. 3 v.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física*. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994. 4 v. I. Mecânica; II. Gravitação, Ondas e Termodinâmica; III. Eletromagnetismo; IV. Óptica e Física moderna.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

KAPLAN, I. *Física nuclear*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1978.

MARTINS, J. B. *A História do átomo:* de Demócrito aos *quarks*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2001.

MARTINS, R. A. *Universo:* teorias sobre sua origem e evolução. São Paulo: Moderna, 1994.

NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 3 v.

OKUNO, E. et al. *Física para Ciências Biológicas e Biomédicas*. São Paulo: Harbra, 1982.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. *Medidas de tempo*. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/tempo/tempo.htm>. Acesso em: 14 out. 2015.

OREAR, J. *Física*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975.

PIRES, A. S. T. *Evolução das ideias da Física*. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

RESNICK, R; HALLIDAY, D. *Física.* Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1971. I: Mecânica, Acústica e Calor. II: Eletricidade, Magnetismo e Óptica.

ROCHA, J. F. M. (Org.). *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: Ed. da UFBA, 2002.

RONAN, C. A. *História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge*. 4 v. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997. I. Das origens à Grécia; II. Oriente, Roma e Idade Média; III. Da Renascença à Revolução Científica; IV. A ciência nos séculos XIX e XX.

SALMERON, R. A. *Introdução à Eletricidade e ao Magnetismo*. São Paulo: Noble, 1963.

SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. *Princípios de Física*. 3. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. 4 v. I. Mecânica Clássica; II. Movimento Ondulatório e Termodinâmica; III. Eletromagnetismo; IV. Óptica e Física moderna.

TIPLER, P. A. *Física*. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000. 3 v. I. Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica; II. Eletricidade e Magnetismo, Óptica; III. Física moderna: Mecânica Quântica, Relatividade e a Estrutura da Matéria.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *Física*. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008. 4 v. I. Mecânica; II. Termodinâmica e Ondas; III. Eletromagnetismo; IV. Óptica e Física moderna.

Índice remissivo

A
aceleração da gravidade, **66, 67**
alavanca, **242**
  interfixa, **242**
  interpotente, **244**
  inter-resistente, **243**
Aristóteles, **13, 23, 44, 101**
Arquimedes, **250, 269**

B
Bernoulli, Daniel, **273, 278**
bomba de recalque, **263**
Brahe, Tycho, **102, 209, 227**

C
carga elétrica, **104, 146, 155**
centro de gravidade, **235**
coeficiente
  aerodinâmico, **138**
  de atrito dinâmico, **108**
  de atrito estático, **107, 145**
Copérnico, Nicolau, **45, 102, 209, 227**
Coulomb, Charles, **146**

D
Descartes, René, **45, 122, 183, 205**
dinamômetro, **111, 123**

E
empuxo, **136, 269**
energia, **152**
  cinética, **167**
  elétrica, **155**
  eólica, **158**
  mecânica, **153**
  potencial, **169**
    elástica, **171**
    gravitacional, **170**
  nuclear, **157**
  química, **154**
  solar, **156**
  sonora, **157**
  térmica, **155**
espaço, **50**
Eratóstenes, **38**

F
força, **103**
  de atração, **105**
  de atrito, **107**
    dinâmico, **107**
    estático, **107**
  de resistência do ar, **136**
  elétrica, **146, 155**
  gravitacional, **212**
  peso, **105**
  potente, **242**
  resistente, **242**
  resultante, **103**
forças
  conservativas, **175**
  dissipativas, **175**
frequência, **86**

G
Galilei, Galileu, **13, 70**
grandeza, **74**
  escalar, **74**
  ordem de, **37**
  vetorial, **74**
gravitação, **218**

H
heliocêntrico, **209**

I
impulso, **186**
inércia, **102, 112, 114**
intensidade, **80**

J
Joule, James Prescott, **178**

K
Kepler, Johannes, **70, 102, 209, 227**

L
lei da gravitação universal, **17, 218**
leis
  de Kepler, **102, 209, 211**
  de Newton, **100**

M
manômetro, **261, 262**
mola, **110**
movimento
  acelerado, **61**
  circular, **85**
  curvilíneo, **82**
  de rotação, **215**
  dos planetas, **218**
  retardado, **62**
  retilíneo
    uniforme, **57**
    uniformemente
      acelerado, **91**
      variado, **91**

N
Newton, Isaac, **19, 45, 122, 209**

O
órbita, **211, 222**

P
período, **86**
plano inclinado, **70, 71, 134**
Platão, **23**
pressão atmosférica, **258**
princípio
  da conservação da energia, **165**
  de Arquimedes, **269, 277**
  de Pascal, **266**
projétil, **98**
  alcance do, **92**
Ptolomeu, Claudio, **209**

Q
quantidade de movimento, **182**
queda livre, **54, 65**

R
resistência do ar, **65, 136**

S
sistema
  internacional de unidades, **29**
  métrico decimal, **29**

T
teoria
  da gravitação, **209, 218**
  da relatividade, **20, 46, 179, 219**
torque, **201**
Torricelli, Evangelista, **258**
trabalho, **160**

U
unidade de medida, **25**

V
Varignon, Pierre, **97**
velocidade, **51**
  constante, **57**
  escalar média, **51**
  instantânea, **51**
velocímetro, **51**

Manual do Professor

Física

VOLUME 1

Sumário

1 Conversa com o professor 291
2 Os PCNEM e a história do ensino de Física 291
3 Aprender e ensinar Física para quê? 294
4 O Novo Enem 299
5 Sugestões de aprofundamento 302
6 Linha pedagógica da Coleção e estrutura da obra 305
7 Discussão sobre avaliação 308
8 Estratégias didáticas e o conteúdo digital na prática pedagógica 313
9 Temas transversais 318
10 Sugestões de abordagem e resoluções 321
Capítulo 1 321
Capítulo 2 325
Capítulo 3 331
Capítulo 4 340
Capítulo 5 349
Capítulo 6 357
Capítulo 7 366
Capítulo 8 375
Capítulo 9 382
Capítulo 10 387
Capítulo 11 394

1 Conversa com o professor

Caro Professor,

Construímos este **Manual do Professor** com o objetivo de auxiliá-lo na prática docente. Por isso iniciamos retomando as concepções do Ministério da Educação (MEC) a respeito do Ensino Médio, as propostas dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) e para o ensino da Física, uma vez que no nosso trabalho procuramos dialogar com essas orientações. Com o mesmo foco apresentamos reflexões sobre o Enem e sugestões de aprofundamento.

Em seguida, e de forma geral, apresentamos a proposta pedagógica escolhida e a estrutura da obra; nesse tópico discutimos os caminhos que levaram à construção deste material e os objetivos de cada elemento que o constitui.

Procuramos fornecer ferramentas práticas para o cotidiano escolar; assim, falamos sobre avaliação, práticas didáticas, recursos digitais e temas transversais, com uma postura que contribui para o entendimento de cada item e o auxilia na construção de estratégias didáticas coerentes com a sua realidade.

Sintetizamos os objetivos de cada uma das seções que compõem os capítulos do livro do aluno, tendo em mente que o trabalho desenvolvido pelo professor em sala de aula deve estar em sintonia com tais objetivos. A partir daí seguem-se sugestões para o desenvolvimento dos conteúdos trabalhados – procedimentos e estratégias pedagógicas para cada uma das seções propostas, resoluções comentadas das atividades e exercícios.

Bom trabalho.

Os autores

2 Os PCNEM e a história do ensino de Física

O novo paradgima

Sem nos posicionarmos a favor ou contra a legitimidade do vínculo, não há como negar a conexão existente entre os interesses econômicos e políticos e as decisões que guiam a trajetória da educação de uma nação. Publicados no momento em que as mudanças sociais e econômicas estavam sendo introduzidas pela era da informação, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) estão alinhados com as novas necessidades mundiais e podem ser explicados, em grande parte, por meio dessa conexão.

De acordo com a psicóloga e professora da Universidade Federal do Rio de Janeiro Mônica Pereira dos Santos, a luta pela "escola para todos" teria tido sua origem na época da publicação da Declaração Universal dos Direitos Humanos, pela Organização das Nações Unidas (ONU), em 1948. Na década de 1960, no Brasil, essa luta se ramificou no movimento de "massificação do ensino", que se estende até hoje e tem beneficiado boa parcela da população carente. Precisamos dizer que, apesar do marco simbólico para a qualidade do ensino nacional, em meados do século passado, a "educação para todos" ainda era elitista no Brasil, já que as classes desfavorecidas procuravam o ensino técnico profissionalizante para garantir capacitação e um espaço no mercado de trabalho, ocasionando a impossibilidade de ingresso no nível superior. A oferta de um ensino técnico profissionalizante atendia bem às necessidades de recursos humanos para o desenvolvimento econômico do país, em uma época em que o setor industrial se estabelecia como alicerce econômico para o desenvolvimento.

Nesse contexto, as primeiras duas LDBs (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional), de 1961 e de 1971, propunham como objetivo preparar o indivíduo para sua futura integração profissional à sociedade. Entendemos como um dos papéis esperados para a escola nesse momento a formação de cidadãos preparados para enfrentar as dificuldades do mundo profissional e que fossem capazes de contribuir para o crescimento econômico do país. As funções associadas à produção e ao desenvolvimento industrial nessa época não demandavam um profissional que tivesse desenvolvido a fundo as funções cognitivas de criação e pensamento crítico, mas apenas alguém que soubesse realizar tarefas preestabelecidas. Um ensino que valorizava a memorização e a reprodução como resultados esperados para a aprendizagem não era recriminado, uma vez que tais operações cognitivas se mostravam suficientes para muitos desses cargos técnicos.

No entanto, na década de 1980 o cenário econômico mundial começou a mudar e, no Brasil, a década de 1990 foi marcada por uma revolução na maneira como a economia e as relações sociais começaram a se estabelecer. A era da tecnologia e da informação, que já havia dado seus primeiros passos e chegava ao Brasil criando novas necessidades, as quais o ensino tradicional, concebido para preparar para exames de vestibulares ou formar profissionais da indústria, não poderia suprir. O que se espera nessa nova era não é mais o que se esperava na era industrial. A quantidade de informação que passou a ser produzida e disseminada exige profissionais que saibam pesquisar, selecionar, analisar e que tenham autonomia para procurar e aprender o que for necessário. A memorização e a especialização técnica que atendiam bem à demanda da década anterior tiveram de dar espaço à apropriação de habilidades e competências diferenciadas. A escola tradicional devia ser repensada, e o olhar da população estava atento a essa necessidade. Essa atenção pública começa a se concretizar na LDB de 1996. Ao compararmos o primeiro artigo das três LDBs, de 1961, 1971 e 1996, que iniciam o capítulo sobre objetivos e organização do ensino para o nível do Ensino Médio, vemos que essa preocupação se torna evidente somente na última das três (LDB/1996):

Lei n. 4 024, de 20 de dezembro de 1961

Art. 33. A educação de grau médio, em prosseguimento à ministrada na escola primária, destina-se à formação do adolescente.

Lei n. 5 692, de 11 de agosto de 1971

Art. 21. O ensino de 2º grau destina-se à formação integral do adolescente.

Parágrafo único. Para ingresso no ensino de 2º grau, exigir-se-á a conclusão do ensino de 1º grau ou de estudos equivalentes.

Lei n. 9 394, de 20 de dezembro de 1996

Art. 35. O Ensino Médio, etapa final da Educação Básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidades:

I. a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no Ensino Fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;

II. a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;

III. o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico.

Notamos que as duas primeiras LDBs fazem menção apenas a uma formação integral do adolescente, sem determinar o que seria ou o que envolveria tal formação. O primeiro artigo da LDB de 1996, no entanto, ressalta de forma clara as preocupações com o tipo de formação que se espera nesse nível, possivelmente reflexo de uma mudança de perfil do profissional que a nação precisa no momento.

Foi nesse contexto que, no final da década de 1990, os PCNEM são publicados, como a forma pública de realçar as novas expectativas de aprendizagem e para orientar professores e pesquisadores da área a fim de atender aos requisitos da LDB/1996.

O texto dos PCNEM está permeado pela ideia de que o ensino tradicional, pautado em memorização, reprodução e automação de procedimentos, se mostrava obsoleto perante a nova realidade. Se antes bastava ao profissional desenvolver tais funções cognitivas, agora elas se mostravam incapazes de embasá-lo cognitivamente de forma a garantir-lhe adequação profissional e social. Com as mudanças que surgiram por meio das novas tecnologias dinâmicas, o conhecimento aprendido na escola poderia se tornar insuficiente em poucos anos. O que fazer? A aposta dos educadores foi usar o conteúdo como matéria-prima para desenvolver habilidades e construir competências. Esses seriam os novos requesitos para a futura profissão, o prosseguimento nos estudos e a adequação social à nova realidade que se modificava pela maneira de compartilhar a informação. Em outras palavras, o conteúdo, pouco a pouco, foi perdendo *status* e dando lugar para as **habilidades e competências**, que começaram a se edificar como as novas bases de uma educação contemporânea. Um equívoco comum é pensar que o conteúdo deve ser abandonado por completo; não é esse o caso nem é o que consta nos textos da didática francesa, que possui uma escola de pensadores que defendem, estudam e pesquisam seriamente sobre o ensino por habilidades e competências. Conforme argumenta Perrenoud, sociólogo de referência nas pesquisas em educação e ensino:

[...] Para entender o mundo e agir sobre ele, não se deve, ao mesmo tempo, apropriar-se de conhecimentos profundos e construir competências suscetíveis de mobilizá-los corretamente?

[...] São múltiplos os significados da noção de competência. Eu a definirei aqui como sendo uma capacidade de agir eficazmente em um determinado tipo de situação, apoiada em conhecimentos, mas sem limitar-se a eles.

PERRENOUD, Philippe. *Construir as competências desde a escola*. Porto Alegre: Artmed, 1999.

Podemos usar como exemplo o ensino da cinemática. De acordo com a nova escola pedagógica, esse conteúdo não deve necessariamente ser deixado de lado, mas utilizado para propiciar aos estudantes uma oportunidade de desenvolver habilidades relacionadas à leitura de gráficos e tabelas. Comparar gráficos de movimento uniforme com movimento uniformemente variado, extrair valores de gráficos, como velocidade, deslocamento, aceleração, compreender o significado da inclinação e vértices, etc., são operações que, unidas, poderão ajudar o aluno a desenvolver a habilidade de trabalhar com gráficos. É muito provável que no futuro ele não se recorde dos conceitos, contudo as habilidades desenvolvidas e as competências construídas sobreviverão aos tempos posteriores à escola. Se esse for o caso, ao deparar com uma situação em que precise utilizar a habilidade de trabalhar com gráficos, ele será capaz de mobilizá-la e utilizá-la para a resolução do problema.

Assim, a educação tem como objetivo mudar a postura do indivíduo diante das situações, mesmo que corriqueiras. Habilidades e competências pressupõem autonomia e proatividade diante dos obstáculos. Essas características não são esperadas apenas no contexto profissional, mas também na convivência social. Se educação é de fato o que sobrevive no futuro quando o conteúdo ensinado já foi esquecido, ainda que o **o quê** tenha ficado no meio do caminho ao longo dos anos, o **como** deverá sobreviver e aumentar as chances de uma integração mais harmoniosa tanto no campo profissional como no campo social.

Como já enfatizamos, não devemos pensar que ensino por construção de competências se opõe à apropriação de conteúdos. A solução de problemas complexos indica a necessidade de um conhecimento profundo, sem o qual o profissional limita suas possibilidades de atuação. Todavia, esse conhecimento, de acordo com as ideias desse pensador, é um conhecimento adquirido não apenas durante os anos escolares, mas também ao longo da vida, por experiência, estudo e reflexão. A junção de conhecimentos e competências forma o perfil de um indivíduo **especialista competente**, aquele que possui um profundo conhecimento de seu campo de atuação, mas que, além disso, apresenta as competências requeridas para atuar, agir sobre a situação imposta e buscar novos conhecimentos quando necessário. No outro extremo estariam os eruditos puros, que compilaram, pela memorização, uma infinidade de saberes e são capazes de falar sobre esses conhecimentos e convencer os mais incrédulos, porém incapazes de colocá-los em prática de forma criativa e efetiva.

O ensino de Física no Brasil

Não há como saber com precisão o que ocorria nas salas de aula de Física do Ensino Médio brasileiro nas últimas décadas. O que pode ser feito é uma análise a partir de elementos que o influenciava. Entre eles, destacamos os livros didáticos e os grandes projetos. O que faremos a seguir é tentar, de forma sucinta, entender de que maneira as características dos livros e os projetos favoreciam ou não um ambiente para o desenvolvimento de habilidades e a construção de competências.

Os livros didáticos

Segundo a Teoria da Transposição Didática do pensador francês Yves Chevallard, o saber trabalhado pelo professor em sala de aula, denominado **saber ensinado**, é retirado quase integralmente de manuais escolares e livros didáticos, daí a importância de entender um pouco sobre a evolução histórica dos materiais de ensino.

Durante o século passado, até a década de 1960, os livros didáticos de Física destinados ao ensino secundário eram muito semelhantes aos compêndios usados para o ensino de Física em nível superior. Muitas vezes, eram resumos dessas obras que traziam apenas as noções gerais, sem o aprofundamento teórico e matemático mais avançado que os compêndios costumavam trazer. Os saberes presentes em seus capítulos eram dispostos de forma sequencial, linear e descritiva, propunham poucos exercícios aos alunos e as atividades experimentais eram descritas por meio de desenhos e esquemas de acordo com o experimento real, e não como uma atividade a ser realizada pelo aluno ou demonstrada pelo professor.

O livro didático para o Ensino Médio trazia tópicos cobertos pelos compêndios, ainda que de maneira superficial, em quantidade muito superior à encontrada nos livros didáticos contemporâneos. A lista de tópicos passava por toda a Física clássica, aplicações tecnológicas e Física moderna, tanto Física quântica como relatividade, todos expostos da mesma forma linear e sequencial. Não havia seções que propusessem atividades experimentais, pesquisas, trabalhos em grupo ou exercícios com enfoques diferenciados, não contemplando atividades favoráveis ao desenvolvimento de habilidades distintas. Com estrutura literária descritiva, não tinha um cuidado didático que considerasse as representações implícitas dos alunos, tampouco uma tentativa de adequação de linguagem que ponderasse o repertório de palavras e símbolos do aluno. Comparados aos livros atuais, era muito mais difícil para o professor a tarefa de selecionar conteúdos, não apenas pela quantidade de tópicos, mas também pela forma como o livro se organizava, sendo a leitura de um tópico pré-requisito para o seguinte, em uma sequência linear tanto de pré-requisitos como de grau de dificuldade. Além disso, a grande quantidade de conteúdos aliada ao baixo número de exercícios e a falta de propostas de atividades direcionadas aos alunos praticamente inviabilizava a concessão de tempo para o treinamento e a análise de que o aluno carece para desenvolver habilidades. Dessa forma, parece que a valorização da memorização de fórmulas e da reprodução de conceitos seriam um caminho "natural" para o professor de Física que se visse na obrigação de seguir a lista completa de assuntos oferecida por esses livros. Dada a limitação temporal imposta para ensinar a vasta gama de temas abordados, é pouco provável que o professor se dispusesse a refletir sobre alternativas de situações que favorecessem a transferência de habilidades, uma vez que isso poderia romper a sequência lógica predeterminada pelo livro. O encaminhamento de atividades experimentais não era sequer considerado, com a justificativa de que os experimentos já estavam descritos nos livros. Vale sublinhar que o valor didático de atividades experimentais destinadas ao ensino começou a ser reconhecido e se tornou popular apenas com o surgimento dos grandes projetos, conforme veremos a seguir.

Os grandes projetos

Na década de 1950 os Estados Unidos iniciaram uma reformulação radical no ensino de Ciências, migrando de uma abordagem embasada em livros didáticos para um projeto revolucionário que abalou as crenças mundiais sobre o ensino de Física. O projeto estadunidense, intitulado Physical Science Study Committee (PSSC), teve tamanha força didática que acabou por desencadear o investimento e a produção de projetos similares por todo o mundo, até mesmo no Brasil. Aliás, pode-se dizer que seu impacto gerou um estímulo enorme à investigação e à pesquisa em ensino de Ciências, incentivando jovens a ingressar em cursos de licenciatura, além de especializações e pós-graduações voltados ao ensino. Engessados pelo sistema educacional tradicional, os professores de Física rapidamente vislumbraram nesse projeto uma saída para a melhoria do ensino, pois reconheceram de pronto seu valor pedagógico. Em nível nacional houve tentativas da adoção completa do projeto norte-americano traduzido para o português no Ensino Médio, mas elas fracassaram pela falta de preparo dos professores e infraestrutura física e tecnológica precária das escolas da época. No final da década de 1960 e início da década de 1970 surgiram os primeiros projetos nacionais, como o Projeto Brasileiro de Ensino de Física (PBEF), o Física Autoinstrutiva (FAI), o Projeto de Ensino de Física (PEF) e o Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (Gref), como uma tentativa de adaptar os ideais originais do PSSC às necessidades e à realidade brasileira.

Pode-se dizer que os elementos didáticos que diferenciaram esses grandes projetos internacionais e nacionais da metodologia até então utilizada, além da óbvia busca por melhores resultados de aprendizagem, foram:

- a renovação da escolha dos conteúdos, que já esboçava uma preocupação em levar em consideração a realidade do alunado a que se destinava;
- a quantidade de problemas propostos aos alunos, que aumentou muito se comparada àquela presente nos antigos livros didáticos;
- o papel da atividade experimental no ensino, totalmente inovadora para a época, que coloca o aluno como protagonista do processo e o professor como mediador;
- a presença de vídeos que ajudavam a ilustrar fenômenos e conceitos;
- uma linguagem mais acessível ao aluno;
- a instrução explícita no texto para que a classe fosse levada ao debate direcionado de algum tópico.

Quando comparamos o ensino ancorado no antigo livro didático com as propostas trazidas pelos grandes projetos, os ganhos didáticos são claros e contemplam de forma mais satisfatória as características necessárias para o ensino por habilidades e competências.

Por que então os projetos não continuaram a ser utilizados?

Os idealizadores e formuladores dos projetos nacionais estudavam a fundo as teorias de ensino e aprendizagem, o que os capacitava a inovar, criar e identificar as vantagens desta ou daquela metodologia. No entanto, quando levados à escola, a realidade se impunha, revelando seus imprevistos estruturais, culturais e sociais. O professor, sozinho em sua prática de sala

de aula, reconhecia o ideal dos projetos, mas não se sentia capaz de implantá-los na realidade heterogênea e complexa que a ele se apresentava. Pode-se supor, portanto, que uma das razões do abandono dos projetos tenha sido a falta de preparo do professor em entender como adequá-los à realidade com a qual ele se defrontava. Além disso, a escola pedagógica, por habilidades e competências, ainda não havia se consolidado, e suas ideias ainda não haviam se difundido como hoje. Vale observar que a própria demanda profissional da época dos projetos nacionais ainda era a do profissional técnico, e não a do especialista competente. No entanto, é importante frisar que atualmente existe certo grau de pessimismo em relação à adequação pedagógica dos grandes projetos, tanto dos nacionais quanto dos internacionais. As falas chamam a atenção ao fato de que o cientista se prepara a vida toda para levar a cabo experimentos e que isso faz parte do dia a dia de sua profissão. Por isso, a simples transferência desse papel para o aprendiz é, no mínimo, questionável. No caso de não haver um preparo sólido do professor para que se torne capaz de ser mediador do processo, a inversão de papéis poderia cumprir um desserviço à educação.

Finalizando esta breve revisão sobre as influências dos antigos livros didáticos e dos grandes projetos para o ensino de Física e voltando o olhar para os dias atuais, é curioso notar que as tendências educacionais contemporâneas agregam muitos dos elementos históricos que passaram pelo ensino de Física nas últimas décadas. Entre elas, podemos citar: a volta da Física moderna e contemporânea, agora ressurgindo com força nos manuais escolares; a vasta gama de propostas de atividades experimentais, tanto com o caráter de demonstração por parte do professor como de investigação por parte do aluno; a indicação de vídeos, animações e simulações que auxiliam na visualização de fenômenos e conceitos físicos; a grande quantidade de exercícios propostos para os momentos de estudo dos alunos; a contextualização histórica e tecnológica da ciência, enfim, uma miríade de alternativas que busca no pluralismo metodológico uma saída para um ensino de qualidade.

A visão do ensino de Física

O estudo dos três textos publicados pelo MEC (PCN, PCN+ e as Orientações Curriculares para o Ensino Médio) revela pontos comuns entre eles e mostra claramente a escolha pela pedagogia do ensino por habilidades e competências. Esses pontos parecem sinalizar as características que seriam essenciais a uma nova concepção de ensino; além disso, apresentam sugestões sobre a maneira como o ensino de Física pode contribuir para que essa nova metodologia seja concretizada. São eles:

- a determinação de que se supere o ensino tradicional, profissionalizante ou propedêutico, e que se caminhe para um ensino que forme o indivíduo para a vida;
- a necessidade de um ensino que favoreça o desenvolvimento de habilidades, a construção de competências e a transferência de conhecimentos e habilidades para contextos não escolares;
- a seleção de conteúdos e sua contextualização usando o mundo vivencial dos alunos;
- ênfase na importância do ensino interdisciplinar;
- recomendação de um ensino que destaca o conhecimento gerado pela Física como sendo fruto de um processo histórico.

Os PCN podem ser encontrados em:

<http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12598%3Apublicacoes&Itemid=1152>. Acesso em: abr. 2016.

Indicamos sempre uma leitura para atualização dos propósitos da sua prática.

3 Aprender e ensinar Física para quê?

Para os filósofos da ciência, a busca pelo conhecimento sobre o mundo costuma ter duas raízes: as tradições árabe e grega. A primeira teria um viés pragmático, associando a corrida pelo saber com necessidades sociais e econômicas, como a concepção e a elaboração de ferramentas, utensílios, produtos e tecnologias, sempre com o intuito de tornar a vida e a convivência social mais frutíferas e proveitosas. A segunda estaria relacionada a um prazer genuíno do ato de conhecer. De acordo com essa corrente de pensamento, o conhecimento do mundo que nos rodeia, assim como o autoconhecimento, ao proporcionar a contemplação da natureza exterior e interior, serviria de fonte de prazer, o que nos motivaria a querer saber sempre mais.

Seja pela tradição árabe, seja pela simples busca de prazer da antiga Grécia, o fato é que a humanidade não cessa sua ânsia pelo saber. Vidas inteiras dedicadas a pesquisas, investimentos gigantescos, esforços individuais e coletivos trouxeram um acúmulo de conhecimento que exerce uma enorme influência no estilo de vida e na estrutura da sociedade moderna. É difícil precisar a contribuição das Ciências da Natureza em todo esse patrimônio cultural, mas é evidente que desempenharam um papel importante nessa conquista.

Sondar razões para ensinar ou aprender Física demanda uma análise de características próprias da ciência. A seguir exploramos o mecanismo de funcionamento das Ciências Naturais e o utilizaremos na elaboração de argumentos que justifiquem o ensino e a aprendizagem de Física.

O senso comum e o método científico

As Ciências da Natureza, Física, Química, Biologia e suas ramificações mais recentes, como a Geologia e a Meteorologia, têm todas elas uma maneira particular de construir seu conhecimento e de ter acesso à natureza.

A origem da Física está geralmente atrelada à filosofia natural da Grécia antiga e frequentemente atribui-se o seu nascimento à vida e à obra de Aristóteles de Estágira (384 a.C.-322 a.C.). No entanto, a Física aristotélica, muito embora já exprimisse uma procura pelo conhecimento do mundo, ainda não era uma ciência tal qual entendida nos moldes modernos. A ciência moderna tem suas raízes bem depois dos tempos de Aristóteles, já no século XIII, com o frade e filósofo Roger Bacon (1214-1294), que concebeu uma metodologia inédita de obtenção e construção do conhecimento, o chamado método científico. Essa metodologia ganhou corpo e vida séculos depois nas mãos de Galileu Galilei (1564-1642), mostrando ser uma ferramenta poderosa em desvendar os mistérios e a lógica da natureza. Antes desse período, não havia uma compreensão clara sobre a necessidade da utilização de um método para a construção do conhecimento sobre o mundo. O método científico expôs a fragilidade do uso dos cinco sentidos, do senso comum e da lógica teórica como ferramentas de acesso às leis que regem nosso mundo. O método científico de Galileu era fundamentado na observação e na medição precisa dos fenômenos naturais, na ela-

boração de hipóteses seguida de testes experimentais controlados que pudessem validar ou rejeitar tais hipóteses, ou seja, tratava-se de um método que construía a ciência a partir da experimentação, do empirismo. Galileu, ao propor o famoso experimento de abandonar objetos de massas diferentes do alto da Torre de Pisa, pôde refutar, de maneira histórica, a ideia até então aceita de que a velocidade de queda dos objetos dependia de suas massas. Ainda que a hipótese anterior fosse mais compatível com o senso comum e tivesse a credibilidade de seu autor, Aristóteles, ela não sobreviveu à peneira experimental de Galileu. A partir de então, a necessidade de equipamentos que pudessem "observar" os fenômenos de forma mais precisa do que os cinco sentidos, assim como uma lógica fundamentada no empirismo, se tornaram essenciais para que a ciência pudesse progredir. O modelo corpuscular da luz, sugerido por um dos maiores nomes da ciência, Isaac Newton (1643-1727), que supunha a luz formada por minúsculas partículas, também sucumbiu a uma simples demonstração em fenda dupla realizada anos depois pelo físico experimental Thomas Young (1773-1829), demonstrando que a luz poderia ser entendida como uma onda.

Será que existe um método científico?

A exposição anterior pode passar a ideia da existência de um método científico sólido, fundamentado em receitas preestabelecidas, como observação, coleta de dados, formulação de hipóteses, teste experimental e reprodução de resultados. No entanto, a epistemologia já mostrou que essa visão conservadora do método científico, como aquele composto de passos bem definidos, está longe de ser o fator determinante para o avanço da ciência. O filósofo da ciência Alan Francis Chalmers (1931-), em seu livro – *O que é ciência afinal?* – aponta como um dos maiores fatores da credibilidade atual da ciência o equívoco comum de que seus conhecimentos sejam construídos seguindo-se os passos dessa metodologia de forma sistemática e mecânica. Ele menciona o fato de progressos importantes, como as inovações de Charles Robert Darwin (1809-1822), Albert Einstein (1879-1955) e do próprio Galileu, não terem sido realizados por meio nada semelhante ao método tipicamente descrito como sendo o científico. O filósofo francês Gaston Bachelard (1884-1962), no século passado, já chamava a atenção da comunidade científica ao afirmar que o avanço da ciência não se dá pelo simples acúmulo do conhecimento em conformidade com um método científico rígido, mas principalmente por rupturas com conceitos anteriores e reconstruções de ideias e concepções. Para ele: "[...] aceder à ciência é rejuvenescer espiritualmente, é aceitar uma brusca mutação que contradiz o passado".

De qualquer forma, quer se entenda o método científico como uma sequência de passos bem definidos, quer como uma evolução cheia de avanços, rupturas e aparentes retrocessos, o fato é que a ciência, e a Física em particular, realiza seu serviço de acesso à natureza com beleza e esmero.

As ideias de hipótese e modelo

A Física é a ciência natural que examina padrões na natureza e procura conhecê-la da forma mais precisa possível, além de contribuir de forma única para a produção e o desenvolvimento de tecnologias. Ela usa a sistematização da imaginação e do raciocínio lógico para elaborar e testar modelos.

A ideia de modelo em Física é de fundamental importância. Trata-se de uma invenção humana, fundamentada na criatividade, no conhecimento anterior, na intuição e no empirismo. Os modelos físicos estão em constante evolução e sujeitos a reformulações e refutações por meio de testes experimentais controlados. Eles, de forma geral, utilizam o poder de síntese e generalização da linguagem da Matemática e, por meio dela, a Física condensa seu conhecimento e elimina possíveis ambiguidades da escrita.

Um modelo físico está sempre apoiado em hipóteses científicas. Estas, para que se tornem fatos científicos, também deverão sobreviver aos testes experimentais. Ao se encontrarem evidências experimentais que as contradigam, as hipóteses devem ser abandonadas, independentemente da autoridade das pessoas que as defendem, tal como exemplificamos no caso da "disputa" entre Galileu e Aristóteles.

O progresso da ciência e a ideia de paradigma

As hipóteses, os modelos e a própria criatividade do pesquisador se assentam sobre o paradigma do seu tempo. Paradigmas são pressupostos e representações do pensamento que, por estarem enraizados na mente humana, são persistentes e difíceis de ser detectados. Acabam por conduzir a erros e falsas concepções de toda uma geração de cientistas. Por outro lado, por mais estranho que possa parecer, são justamente esses falsos paradigmas que fazem a ciência progredir durante um determinado período da História. No entanto, chegará um ponto em que a evolução da ciência deverá acontecer pela ruptura com essa crença, quando então um novo paradigma será instaurado, que deverá novamente abrigar o progresso da ciência até seu futuro abandono. Essa dialética é considerada fundamental para a evolução da ciência. Com isso em mente, constata-se que as teorias físicas, pelo menos suas partes explicativas, estão fadadas ao abandono no futuro, como deveria ser, uma vez que essas teorias, apesar da utilidade a que se prestam quando desenvolvem tecnologias e fornecem explicações do mundo, são, em última análise, invenções humanas. Sendo assim, as explicações que elas fornecem contêm as imperfeições e os preconceitos inerentes ao ser humano. A natureza, por sua vez, não está preocupada em como o homem tenta entendê-la, e é muito pouco provável que os modelos idealizados pelo ser humano um dia se tornem páreo para os mecanismos da realidade. O modelo atômico, por exemplo, evoluiu enormemente ao longo dos séculos, desde Demócrito de Abdera (460 a.C.-370 a.C.) e Leucipo de Mileto (480 a.C.-420 a.C.) até o modelo quântico moderno, passando a incluir e prever resultados que os modelos passados não previam. Mas é pouco provável que o modelo de átomo, tal como foi concebido pelo homem, um dia se iguale àquilo que poderia ser chamado de átomo real. Aliás, na natureza, o que existe não é o átomo inventado pelo homem, mas algo cujo comportamento se assemelha ao comportamento do átomo que inventamos. Portanto, está sempre aberta a possibilidade de surgir um novo fenômeno ou resultado que o modelo atômico atual não dê conta de explicar. Em outras palavras, usando os métodos da ciência, não temos como ter acesso direto à realidade. O que a ciência faz, e a Física em especial se mostra impecável nesta tarefa, é inventar modelos embasados em medidas precisas, porém indiretas, e, a partir daí, tentar predizer resultados e construir tecnologias. Uma teoria científica, por mais completa que possa ser considerada, nunca pode ser comprovada, apenas rejeitada. Um experimento não prova uma teoria, ele simplesmente diz que ela funciona naquele contexto e, assim, o resultado do experimento serve de indício

de que aquela teoria faz sentido. Contudo, uma vez que a possibilidade de surgir um resultado que a teoria não contemple está em aberto, sua comprovação definitiva nunca será alcançada. Mesmo teorias que se tornaram famosas e deram prestígio aos seus idealizadores, tal como ocorreu com a teoria da relatividade de Einstein, está sujeita a refutação por meio do teste experimental. Não deveria causar surpresa a notícia de que um neutrino ultrapassou a velocidade da luz, mesmo que essa seja motivada por um erro no cronômetro do satélite. A natureza não está preocupada com a fama da teoria da relatividade, ela se comporta da maneira como deve se comportar; nós é que estamos sempre correndo atrás de seus mistérios e à procura da lei final, que nunca deverá chegar.

Quais são os objetos de investigação da Física?

A Física é a ciência que se ocupa em investigar os fenômenos naturais, que são, de uma maneira simplificada, tudo aquilo que ocorre na natureza e que é passível de observação e reprodução controlada em laboratório. O simples cair de um objeto é um fenômeno natural, assim como a formação do arco-íris ou o decaimento radioativo de um átomo. A ocorrência do fenômeno natural pode ou não ter sofrido intervenção humana. A claridade do dia é um fenômeno natural, mas a claridade de uma sala iluminada por lâmpadas elétricas também é um fenômeno natural. Como se percebe, é muito vasto o campo de exemplificação de fenômenos naturais. Talvez seja esclarecedora a separação didática entre fenômenos físicos, biológicos e químicos. Fenômenos químicos estão mais ligados às combinações atômicas e às mudanças de composições da matéria, como, por exemplo, a combustão de uma folha de papel. Fenômenos biológicos dizem respeito à vida, tal como a reprodução, a respiração ou a fotossíntese.

Com o intuito de aumentar o número de objetos e fenômenos estudados pela Física, compilamos a seguir alguns exemplos, mas a lista é praticamente inesgotável, e uma das maiores ansiedades de cientistas e estudiosos contemporâneos nasce justamente da impossibilidade de conhecer todos os saberes construídos pela ciência.

- Existe um grupo de cientistas da Universidade de Chicago, nos Estados Unidos, que já estudou a espessura do fio de mel e a velocidade que ele escorre de uma colher, assim como a forma geométrica que toma quando vai sendo depositado na torrada.
- Na Universidade de Harvard, nos Estados Unidos, existe um grupo que estuda quão pequena uma gota de água pode chegar a ser, a relação de seu formato com as características da superfície na qual ela se apoia e as condições para que as gotas se aglutinem.
- Alguns cientistas, também da Universidade de Chicago, nos Estados Unidos, usando sensores e supercâmeras, mediram o tempo e a velocidade com que uma folha de papel vai sendo deformada por um peso colocado sobre ela. Por mais espantoso que possa parecer, a folha de papel pode ser comprimida por semanas ininterruptas antes de atingir sua espessura final. Esse mesmo grupo estudou e caracterizou as manchas esbranquiçadas comumente encontradas sobre a superfície do café quente.
- Outro grupo internacional de pesquisadores, com colaboradores brasileiros, desenvolveu a câmera mais potente do mundo com a finalidade de detectar a famosa energia escura, que compõe impressionantes 70% do conteúdo do Universo, mas que ainda é um mistério que intriga físicos e astrônomos de todo o mundo.

As declarações da ciência e a verdade absoluta

O termo **cientificamente comprovado** soa, para muitos, como algo impecável, sem falhas e de qualidade inquestionável. Para os cientistas, por outro lado, esse termo é desprovido de sentido, pois eles estão cientes da efemeridade das teorias científicas. É bem verdade que o conhecimento oriundo da ciência não se baseia no senso comum nem no achismo, mas daí a considerá-lo infalível está fora de cogitação. Ceder legitimidade e credibilidade não é o papel da ciência, mas sim buscar melhorias na qualidade de vida por meio da sistematização do saber conquistado e da criação de tecnologias. Recorremos ao humor aguçado de Alan Chalmers em uma declaração sobre essa banalização da ciência: "A ciência deve parte de sua alta estima ao fato de ser vista como a 'religião moderna', desempenhando hoje papel similar ao do cristianismo da Europa, em séculos passados.".

Quais são os produtos das Ciências Naturais?

Como vimos, a ciência é o mecanismo pelo qual a humanidade tem adquirido e organizado conhecimento sobre o mundo natural. Assim, o primeiro produto concreto da ciência é o próprio conhecimento. Este, por sua vez, pode contribuir para o desenvolvimento da própria ciência ou ser usado para desenvolver e criar tecnologias. A tecnologia, de seu lado, ajuda a prover ferramentas para que os cientistas façam mais ciência, ou pode se voltar à sociedade, suprindo necessidades de convivência, profissionais ou lúdicas. Nas linhas que se seguem exemplificaremos muitos dos produtos da ciência, tanto aqueles nativos de pesquisas científicas como outros relacionados a avanços tecnológicos.

Algumas tecnologias tiveram a capacidade de mudar a forma com que o homem lida com o mundo, alterando hábitos e costumes da sociedade. Um exemplo é a eletricidade e seus produtos, tais como o rádio, o telefone, a televisão, o computador, entre outros.

Na saúde e no bem-estar, as pesquisas da ciência e as produções tecnológicas também renderam desenvolvimento, possibilitando que muitos males e sofrimentos causados por enfermidades de toda ordem pudessem ser atenuados ou eliminados. Pesquisa em mapeamento genético, em composição de novos medicamentos ou novas formas de diagnósticos e tratamentos contribuíram para que o homem levasse uma vida mais saudável e aumentasse sua expectativa de vida.

Um subproduto tecnológico em particular merece destaque por ter colaborado de forma direta para a mudança de era da sociedade moderna. A internet, que conecta milhões de computadores e seus usuários em todo o planeta, tem um papel tão marcante que, por vezes, é citada como uma das principais causas da mudança de postura do homem atual, tanto nas situações profissionais como nas relações sociais. Factível graças aos avanços obtidos no campo de telecomunicação e processamento de dados, a internet dispõe de um aglomerado de informações sem precedentes na história da civilização. A disponibilidade de informação em *sites* sociais, comerciais, educacionais, políticos, entre outros, mudam de forma dinâmica a maneira como o cidadão procura soluções, entretenimento, produtos, além de alterar de forma radical o modo pelo qual se comunica com seus semelhantes.

Sendo a tecnologia o assunto em pauta, não podemos deixar de mencionar um dos representantes que melhor exprime o alcance da tecnologia atual. A Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (Cern), maior laboratório de Física de partículas do mundo, localizado em Genebra, na Suíça, ficou mundialmente conhecido por abrigar um dos produtos tecnológicos mais extraordinários já produzidos pelo ser humano: o LHC (Grande Colisor de Hádrons). O LHC ganhou fama por ser a máquina mais cara e de maior extensão já construída. Seus 27 quilômetros em forma de circunferência estão encobertos em um túnel a mais de 100 metros abaixo do solo terrestre. O Cern, com mais de 2 400 funcionários, possui inúmeros projetos de pesquisa em andamento, os quais envolvem mais de 10 mil pesquisadores, incluindo cientistas brasileiros. Assim, em 1990, Tim Berners-Lee, motivado pela necessidade de estabelecer comunicação entre departamentos do Cern e assim conseguir um compartilhamento mais rápido e eficiente de documentos de pesquisa, idealizou a WWW, sigla para World Wide Web, o sistema de redes da internet mais usado. Dessa forma, pode-se afirmar que o Cern produziu a maior máquina do mundo, o LHC, e o sistema de redes mais usado. Muitos se espantam quando se dão conta dos propósitos da construção do LHC. Tamanho investimento para detectar destroços de colisões entre partículas que nem ao menos conseguimos ver a olho nu! Qual é o sentido de tudo isso? Uma vez mais devemos recordar as razões que impulsionam a busca pelo saber: fins práticos, de ordem social e econômica, expressos pela tradição árabe ou a busca pelo conhecimento como fonte de prazer, conhecida como tradição grega. Muito provavelmente são essas razões que impulsionaram a humanidade em realizar um feito tecnológico desse porte. Seja como for, é simplesmente incrível, mesmo na visão dos cientistas, conceber que o ser humano tenha conseguido, em tão poucos anos, do início da sistematização da ciência com Galileu, construir a vasta gama de conhecimentos que viabilizou a concretização de tantos produtos tecnológicos.

Finalizando essa passagem sobre os produtos da ciência, vale citar algumas previsões feitas por cientistas com respeitada reputação na comunidade acadêmica, como é o caso do físico teórico norte-americano Michio Kaku (1947-). Em suas publicações, ele reúne tecnologias já em uso nos mais avançados laboratórios e centros de pesquisa com o intuito de vislumbrar o que será possível realizar no futuro. Suas previsões agregam façanhas tecnológicas inimagináveis ao homem moderno. Um escudo, muito similar a qualquer um utilizado nas séries de ficção, invisível e ultrarresistente, será possível graças às malhas de nanotubos que lhe conferem transparência, ao mesmo tempo que o tornam milhões de vezes mais resistente do que o aço. O escudo poderá contar com uma janela de plasma que evitaria o ingresso de ar e incineraria instantaneamente qualquer objeto que tentasse atravessá-lo. O escudo contará ainda com as propriedades das moléculas fotocromáticas, tornando-se opaco quando o *laser* do inimigo tenta atravessá-lo. Além do escudo, a levitação magnética é outro futuro real nas previsões de Kaku; os supercondutores feitos de cerâmica tornariam a levitação de objetos imantados um elemento comum do cotidiano. Na China, o trem Maglev, que usa a tecnologia de levitação magnética para fazer com que o trem literalmente flutue sobre os trilhos, já é uma realidade; ele atinge velocidades altíssimas graças à ausência de atrito cinético e já transportou, desde sua inauguração em 2003, mais de 2 milhões de pessoas. Mas Kaku preconiza o barateamento dessa tecnologia e seu uso também em carros e ônibus. A levitação magnética já é feita, no ambiente de laboratório, com seres vivos. Sapos e rãs ficaram suspensos no ar pela força magnética invisível que contrabalanceava o peso deles. De acordo com Kaku, o último feito da levitação magnética foi suspender no ar um lutador de sumô de mais de 100 quilos! Mas para quem acha o escudo e a levitação surpreendentes, a invisibilidade, viável graças ao desenvolvimento dos metamateriais, levaria a ficção científica ao mundo real e faria a imaginação voar nas possibilidades, éticas e não éticas, de seu uso. O metamaterial, por possuir índice de refração negativo, direciona a trajetória da onda eletromagnética de tal modo que ela contorna o objeto e sai do outro lado, na mesma direção que teria caso o objeto não estivesse lá. Assim, um observador na frente do objeto poderia ver tudo o que está atrás dele, o que faz com que o objeto em si desapareça! Porém, toda essa tecnologia, que mais parece magia, torna-se insignificante quando Kaku prevê o que ele nomeia como replicador. Uma máquina que possuiria cartuchos de átomos de todos os elementos químicos, os quais poderiam ser manipulados por nanorrobôs, e seria capaz de construir qualquer coisa feita de átomos. Se você quisesse um relógio, por exemplo, bastaria selecioná-lo no *display* e, em poucos minutos, o replicador o construiria para você! Literalmente qualquer coisa que seja feita de átomos, ou seja, todos os objetos físicos que conhecemos.

O que se pode conseguir quando se sabe Física?

Os benefícios de quem sabe Física podem ser agrupados em duas categorias. A primeira trata da interação do indivíduo com o meio em que vive, representada pela alfabetização tecnocientífica, e a segunda está ligada ao seu desenvolvimento cognitivo.

Alfabetização tecnocientífica

O mundo está repleto de tecnologias, na forma de processos ou produtos tecnológicos. Os conceitos da Física estão presentes em praticamente todos esses processos e produtos, portanto uma interação mais harmoniosa com a tecnologia moderna passa necessariamente pela aprendizagem dessa ciência.

Por exemplo, saber Física facilita a leitura de manuais de aparelhos elétricos e eletrônicos, assim como a de contas de consumo, uma vez que a linguagem de manuais e contas de consumo utiliza os mesmos elementos da linguagem da Física, como tabelas, gráficos e unidades de medida.

O princípio de funcionamento dos motores a combustão, dos geradores e motores elétricos, dos aparelhos elétricos e eletrônicos e dos processos de produção, transformação e transmissão de energia são todos fruto de conceitos físicos. Esses produtos e processos devem boa parte de sua idealização e implantação ao entendimento proporcionado pela Física. Sem uma mínima noção de conceitos de Eletricidade, Mecânica e Termodinâmica não há como haver uma compreensão, ainda que básica, de todos esses processos, tampouco um uso consciente deles.

Parece que sem a compreensão mínima, não apenas da Física, mas das Ciências Naturais, será difícil haver segurança ao opinar em situações como construção de usinas e barragens, exploração de recursos naturais, planejamento urbano, entre outras decisões que podem afetar o bem-estar da sociedade e do planeta. Muitos dos problemas ambientais modernos podem ser solucionados com a contribuição da Física, assim, a compreensão tanto do problema quanto de sua solução passa pelo entendimento de conceitos e leis físicas.

Além de tudo isso, a alfabetização tecnocientífica confere entendimento dos fenômenos típicos do mundo em que vivemos. As razões anteriores estão ligadas ao senso prático, mas devemos considerar o conforto intelectual obtido ao se compreender a natureza e o Universo que habitamos. Encontrar explicações razoáveis aos fenômenos naturais poderá proporcionar o prazer da contemplação, conforme a tradição grega. Para os físicos, o impacto visual gerado ao se presenciar auroras polares, eclipses, o azul do céu e do mar, o verde das plantas e o espaço além do Sistema Solar anda lado a lado com a satisfação intelectual de conhecer razões que explicam todos esses fenômenos naturais.

Finalmente, a alfabetização tecnocientífica ajuda a prevenir contra os malefícios da pseudociência. Infelizmente existem pessoas que usam a má informação alheia para enganar, ludibriar ou trapacear. De posse de jargões e conceitos da ciência, que por vezes não são bem entendidos, mas conferem credibilidade e legitimidade a um produto ou serviço, pseudocientistas iludem os menos precavidos. Livros sobre cura quântica são lançados como se a Física quântica tivesse a saúde humana como objeto de investigação! Ora, não existe nenhum artigo científico publicado em periódico reconhecido pela comunidade científica que junte estes dois objetos, Física quântica e pensamento. Quem estuda Física reconhece quando hipóteses ou modelos não são científicos, pois percebe que não existe maneira de testá-los. Percebe quando a afirmação é vazia, desprovida de conexão lógica com os conceitos científicos. Evita, dessa maneira, que venha a ser lesado pela má intenção de alguns. O que, porém, dissemos não elimina a possibilidade de o pensamento positivo poder, de fato, propiciar ganhos profissionais e econômicos. O que defendemos é que não se deve utilizar o nome da ciência para creditar produtos e serviços quando estes não são objetos de investigação da ciência. Pode até ser que pensamento positivo ajude a trazer realizações materiais para uma pessoa, mas tal afirmação nunca foi testada pela ciência e, no nível tecnológico em que ela, ciência, se encontra, não há como visualizar um futuro próximo no qual esse teste possa ser feito.

Ganhos cognitivos

Sabe-se que a capacidade cognitiva de uma pessoa está associada, entre outros fatores, com os caminhos sinápticos que já se estabeleceram e que estão se estabelecendo no cérebro. Atividades que exigem e desafiam o nosso intelecto estimulam o aparecimento de caminhos sinápticos. Para o psicólogo e mestre em Educação Marcos Meier, são quatro fatores que se relacionam ao desenvolvimento da inteligência: a diversidade e a intensidade de estímulos, a conquista de desafios, a superação de dificuldades e a resolução de problemas. Sendo assim, a Física se mostra um terreno fértil para o aprimoramento cognitivo, uma vez que a apropriação de seus saberes passa naturalmente por situações que favorecem o aparecimento dessas quatro exigências sugeridas por Meier. A Física é um conhecimento construído que, não raramente, desafia o senso comum e se torna contraintuitivo. Conhecer suas leis já é, em si, um desafio a ser conquistado. Certamente exigirá a resolução de problemas por parte do candidato a detentor de seus saberes. Não se colocam exercícios em livros de Física para fazer parecer que a Física é trabalhosa. Isso ocorre por se ter consciência de que a resolução de problemas de naturezas diversas pode auxiliar na assimilação das várias facetas de um mesmo conceito físico.

Ao estudar Física, o aluno se depara com situações reais e irreais, simples e complexas, intuitivas e contraintuitivas, comuns e incomuns, microscópicas e macroscópicas, conceituais e matemáticas, tangíveis e intangíveis, universais e particulares, o que ajuda a fortalecer sua capacidade de imaginação, outra ferramenta fundamental para a saúde cognitiva. Todas essas circunstâncias oferecem uma composição de estímulos que ajuda o estudante a desenvolver a capacidade de abstração e de generalização, mais duas ferramentas cognitivas imprescindíveis para a compreensão das leis físicas e para a o fortalecimento da cognição.

O desenvolvimento e a apropriação de habilidades lógicas e simbólicas é outro benefício decorrente do estudo da Física. Ela é a ciência natural que usa de forma mais frequente e acentuada a lógica e os símbolos da Matemática para quantificar fenômenos, condensar resultados e fazer previsões por meio de equações, gráficos e tabelas. As habilidades necessárias à manipulação de símbolos e o domínio da linguagem matemática desempenham um papel relevante no intelecto humano e poderão ser utilizados em diferentes contextos profissionais e sociais.

A criatividade é outro ganho intelectual que poderá ser proporcionado pelo estudo dessa ciência. Em nível cognitivo, a criatividade está embasada no pensamento divergente, aquele que considera as mais variadas possibilidades antes de escolher a que melhor se adapta à situação dada. A Física, por se originar de invenções humanas, representadas por modelos, leis e teorias, exige daquele que a estuda e a constrói uma reflexão constante a respeito das inúmeras explicações que poderiam ser dadas a um mesmo fenômeno, até que se chegue a um consenso, ou seja, o pensamento divergente é uma constante daquele que faz ou que estuda a Física. Para Alan Chalmers, citado anteriormente, a postura do cientista é aquela que se dispõe a questionar o fato dado, a reexplicar o já explicado, a recriar o já criado. Para Bachelard, também já citado neste tópico, o homem movido pelo espírito científico deseja saber mais e mais, porém para, imediatamente, melhor questionar o mundo a sua volta.

Por fim, a Física, ao abordar fenômenos de grande e pequena escala com o uso da mesma metodologia e linguagem, favorece uma visão de unidade no todo, o que auxilia no desenvolvimento da capacidade de síntese, outra ferramenta de valor inestimável para a cognição humana.

Procuramos mostrar o poder que a Física tem como ferramenta de desenvolvimento cognitivo. Obviamente não se quer dizer com isso que essa seja a única via de acesso ao desenvolvimento da cognição. Muitas das funções mentais levantadas e outras complementares a essas poderão ser trabalhadas em outras áreas de estudo, como a linguagem e as Ciências Humanas, colaborando para uma formação holística do intelecto.

Aprender Física é realmente para poucos?

A visão da Física como uma ciência a ser aprendida por poucos é um mito que deve ser superado. Obviamente existem pessoas que apresentam mais aptidão para algumas áreas, que parecem ter mais facilidade para entender assuntos que exigem habilidades específicas. Assim, há indivíduos que desenvolvem o lado artístico muito rapidamente, aqueles que têm uma propensão até genética para o esporte e outros que parecem ter nascido com uma facilidade acima da média para compreender assuntos que demandam o uso da inteligência lógica ou simbólica. Todavia, as pesquisas do psicólogo Howard Gardner desmistificaram a crença de que a inteligência é estática, de que o sujeito está condenado a ter como inteligência apenas aquela detectada na infância. Suas pesquisas

indicam que qualquer pessoa saudável pode desenvolver qualquer uma das inteligências múltiplas, a saber, a inteligência lógico-matemática, a linguística, a interpessoal, a intrapessoal, a musical, a cinestésica-corporal e a inteligência espacial. O mito que prega que aprender Física é difícil está ancorado em outro mito: o de que a inteligência é estática e não passível de desenvolvimento. A própria conscientização, por parte do estudante, de que sua inteligência pode se desenvolver lhe confere motivação para buscar os meios para isso, o que já o diferencia daquele que acredita na estagnação cognitiva. Tomar consciência da aptidão que surge na infância de forma natural pode ser importante no momento da escolha da profissão, mas não deve servir de justificativa para não aprender algo. Em princípio, qualquer pessoa é capaz de aprender qualquer coisa, contanto que siga as exigências impostas para a aprendizagem desse assunto. Dessa forma, a união da força de vontade por parte dos estudantes com a boa vontade por parte do professor pode servir de fator decisivo à superação dos obstáculos inerentes ao processo de ensino e aprendizagem de Física.

4 O Novo Enem

Um pouco da história do Enem

O Enem (Exame Nacional do Ensino Médio) foi criado em 1998 com o *status* de primeira prova unificada do Brasil. Seu objetivo inicial era avaliar anualmente a qualidade de aprendizagem dos alunos do Ensino Médio e, com isso, estabelecer critérios para a elaboração de políticas públicas visando à melhoria do ensino.

As provas do Enem, entre os anos de 1998 e 2008, continham 63 questões dispostas de forma sequencial, sem separações em disciplinas escolares ou áreas específicas do conhecimento. Nas primeiras versões, o Enem testava habilidades mais gerais, como a interpretação de tabelas, gráficos e textos, assim como a resolução de problemas simples da vida real do aluno. Essas primeiras habilidades avaliadas demandavam muito pouco do conteúdo específico ministrado no Ensino Médio.

Em 2008, o Ministério da Educação apresentou uma proposta de reestruturação do Enem, que passou então a ser chamado de Novo Enem e começou a ser aplicado em 2009. A prova do Novo Enem é composta, desde então, de 180 testes de múltipla escolha, divididos em quatro áreas de conhecimento: Ciências da Natureza, Ciências Humanas, Linguagens e Matemática, além da prova de redação. Em sua nova estrutura, o Enem traz, além do intuito original de avaliar o Ensino Médio em âmbito nacional, a possibilidade de ser utilizado como ferramenta de seleção para o ingresso do estudante no nível superior. O novo exame, apesar de também testar habilidades, passa a contar com uma lista de conteúdos muito mais extensa do que a utilizada em sua versão antiga. Na visão de muitos professores e educadores, essa nova lista de conteúdos seria equivalente àquela cobrada pelo vestibular tradicional.

Um dos principais objetivos da nova estrutura do exame foi a democratização da concorrência às vagas das universidades públicas federais, conseguida por meio da mobilidade acadêmica. A ideia de centralizar o acesso ao nível superior em um único exame facilita muito o ingresso em universidades públicas. Antes do Novo Enem, para conseguir uma vaga em qualquer uma dessas universidades, o aluno costumava realizar vestibulares diferentes, uma vez que cada instituição tinha o próprio processo seletivo. As provas de seleção tinham suas especificidades de conteúdo e forma e aconteciam em datas e locais diferentes. Além disso, o aluno se via obrigado a pagar a taxa de inscrição de cada um desses vestibulares e ainda os custos de transporte e alojamento nas diferentes cidades onde aconteciam as provas. O exame unificado eliminou as inúmeras taxas de inscrição e o desgaste de várias viagens ajudou o aluno a focar seu estudo em apenas um modelo de prova. O número de inscritos no Enem vem aumentando muito desde a sua primeira edição. O Novo Enem, que desde 2009 é a porta de entrada de inúmeras universidades públicas, atraiu ainda mais interessados, o que contribuiu para um enorme crescimento no número de inscrições. A edição de 1999 contou com a participação de pouco mais de 340 mil candidatos, ao passo que 2015 atingiu a marca impressionante de 8,4 milhões de inscritos.

Outra meta do MEC com a oficialização do Enem como exame de ingresso no nível superior é fazer com que o vestibular tradicional, com o passar do tempo, deixe de ditar a escolha curricular do Ensino Médio. A intenção é mudar a forma como o conteúdo é cobrado nos vestibulares e assim reorganizar a grade curricular do Ensino Médio. O vestibular tradicional costuma cobrar uma quantidade enorme de conteúdos, sem se preocupar com as habilidades necessárias para a resolução de suas questões. No lugar dessa prova, as questões do Enem são pautadas em habilidades. A prova do Novo Enem, diferentemente dos vestibulares tradicionais, exige mais raciocínio do que memorização. A expectativa é que o fato de o Enem ser um exame que requer habilidades mais do que memorização ajude a mudar o perfil curricular do Ensino Médio. Por ser o exame que avalia a qualidade da aprendizagem ao mesmo tempo que abre as portas de grandes universidades do país, nada mais natural que as escolas, tanto públicas quanto privadas, comecem a direcionar seus esforços para um ensino por habilidades. Nessa nova perspectiva, o conteúdo do Ensino Médio passaria a ser utilizado apenas como meio a partir do qual se desenvolvem habilidades, deixando de ser o objetivo final de aprendizagem. Isso implica mudanças nas próprias expectativas de aprendizagem, o que, por conseguinte, conduz a uma reforma curricular. Algumas escolas já iniciaram um movimento de mudança das estratégias didáticas e já começam a fazer uma seleção mais criteriosa de conteúdos. Muitos professores já percebem a necessidade de um ensino que atenda aos novos objetivos educacionais que vieram com o Novo Enem. Dessa forma, entendemos que, aos poucos, o propósito de mudança curricular do Ensino Médio, tão almejada pelo MEC, esteja se concretizando.

Enem *versus* vestibular

Pesquisas em ensino de Física têm apontado, frequentemente, a relevância de um ensino com significado, com sentido. Conforme discutido no tópico 2 deste Manual, ainda que as funções cognitivas de abstração e generalização sejam inerentes à ciência, o início da aprendizagem deveria necessariamente ser contextualizado, provido de sentido e significado para o aluno. É importante que se

entenda que o ensino em questão é aquele destinado a jovens e crianças que não necessariamente possuem já estabelecidas habilidades lógicas e simbólicas. O ensino de Física desprovido de contexto, nesse nível, favorece apenas estudantes que possuem aptidão natural para abstração, além de uma inteligência lógico-simbólica já requintada. Seria algo semelhante a um professor de Educação Física que esperasse de seus alunos um alto rendimento em corrida de longa distância. Tais professores conseguiriam, quando muito, fazer o aluno acreditar que não é capaz de aprender Física, mito já contra-argumentado no tópico 2 deste Manual ou, no outro exemplo, de que ele seja incapaz de praticar esporte. Ora, a abstração, a generalização e o domínio da linguagem lógico-simbólica até podem fazer parte do *hall* de objetivos do professor de Física, contanto que ele perceba se tratar de funções mentais que serão desenvolvidas com o tempo, com experiência, com prática e familiaridade. Dessa forma, um ensino inicial deveria levar em conta as representações já formadas do aluno, as vivências já significadas por ele, além da realidade social e profissional dele e de seus familiares.

Até certo ponto, o vestibular tradicional influencia negativamente a prática do professor. Na tentativa de cumprir a meta preestabelecida pelo vestibular que cobrará uma quantidade exorbitante de assuntos, o professor pode se ver sem saída, direcionando então a sua prática para um ensino descontextualizado, valorizando procedimentos mecanizados de uso de fórmulas sem preocupação com o entendimento de conceitos. Por vezes, transmitem maneiras de fazer com que os alunos cheguem à resposta esperada pela questão do vestibular sem a compreensão subjacente do significado dessas respostas. Em outras palavras, o vestibular tradicional, ao ditar um currículo conteudista e extenso como faz, acaba induzindo um ensino também conteudista, com pouca ou nenhuma significação para o aluno. Tal ensino favorece funções como memorização e reprodução automatizada de procedimentos matemáticos e, dessa forma, privilegia estudantes com natural aptidão para esse tipo de linguagem. Um ensino nesses moldes vai na contramão do destaque atual que se dá à importância de um ensino que atribui sentido e significado aos conceitos físicos.

Uma saída plausível para tal impasse seria a incorporação de um ensino por habilidades. Mas, para tanto, esse modelo de ensino deveria garantir o ingresso do aluno em nível superior e, portanto, a seleção para o nível superior deveria ser realizada por uma prova que organizasse a cobrança dos conteúdos em torno de habilidades. Sendo assim, um exame baseado em habilidades, como se diz o Enem, traz consigo a esperança do fim do problema exposto anteriormente. Uma prova que cobra habilidades favorece um ensino também por habilidades, assim como a prova conteudista do vestibular favorece um ensino também conteudista. Conforme já discutido no primeiro tópico deste Manual, toda habilidade demanda conhecimento e, de maneira geral, quanto mais complexa a habilidade, mais profundo é o conhecimento por ela requisitado. No entanto, um ensino por habilidades traria vantagens claras nesse cenário perturbador do vestibular definindo currículos. Uma vez que uma mesma habilidade pode ser encontrada em diversos saberes e utilizada em diferentes contextos, podem-se usar conteúdos diferentes para o desenvolvimento de uma mesma habilidade. Portanto, não é o caso de abandonar os conteúdos, mas agora existe a possibilidade de selecionar aqueles que funcionarão como matéria-prima para o desenvolvimento de habilidades nos alunos. A premissa pedagógica é que habilidades são mais facilmente transferíveis entre contextos do que conteúdos memorizados e desprovidos de significados. Uma vez incorporada uma habilidade, caso surja uma situação na qual o indivíduo ainda não a tenha utilizado, ele seria capaz de mobilizá-la e transferi-la para esse novo contexto. Com isso, o professor se vê desobrigado de transmitir exaustivamente a vasta lista de conteúdos cobrados pelo vestibular tradicional, bastando para tanto que ele escolha os conteúdos e os assuntos que propiciem ao aluno situações tais que estimulem o desenvolvimento e a apropriação de habilidades. Além dessa vantagem, vale lembrar outro diferencial citado também no tópico 1 deste Manual: o mercado tem se dinamizado enormemente a partir da era da informação, de tal modo que os conteúdos escolares têm papel cada vez menos relevante no exercício da profissão. É bom que se diga, no entanto, que o ensino por habilidades também tem seus problemas e complicações. Se por um lado atenua a questão do currículo conteudista criado pelo vestibular tradicional, por outro é um modelo de ensino que demanda domínio pedagógico amplo do professor que deseja implantá-lo. A força da tradição é uma barreira difícil de ser rompida; existe uma resistência muito grande por parte dos próprios professores em mudar seus esquemas já consagrados de aula, de arriscar uma nova metodologia que possa comprometer a validação de seu trabalho. O ensino por habilidades e competências demanda esforço e dedicação que, em muitos casos, o professor não se vê disposto a empreender. Talvez se trate de uma fase de transição e que aos poucos a escola pedagógica do ensino por habilidades comece a ganhar mais adeptos, passando a se estabelecer como referência real para a sala de aula. Casos bem-sucedidos de professores que se arriscam a uma prática inédita como esta podem servir de exemplo a ser seguido por outros que também se mostram abertos para mudanças, que acreditam na melhoria de um ensino por habilidades, mas que ainda não se sentem preparados para cumprir as exigências dessa prática inovadora. Nesse quadro, a pesquisa em ensino e estudo de casos, em particular aquela dirigida ao papel das habilidades na aprendizagem e as respectivas estratégias didáticas que ajudam a promover tal ensino, merecem atenção especial e divulgação ampla entre o corpo de professores do Ensino Médio.

Habilidades e o conceito de especialista competente

Existem muitas pesquisas já publicadas sobre as características cognitivas e intelectuais do que os educadores denominam especialistas competentes, pessoas que, além de um profundo conhecimento de seu campo de atuação, apresentam habilidades essenciais em torno das quais todo esse conhecimento está organizado. São as habilidades que tornariam o conhecimento vivo, útil e prático. O conhecimento do especialista não corresponde à soma de fatos ou proposições, ou a uma lista de fórmulas relevantes, mas sim de contextos de aplicabilidade, ou seja, o conhecimento é condicionalizado a um conjunto de circunstâncias e mobilizado por intermédio de habilidades. Em pesquisa publicada no artigo de um periódico reconhecido internacionalmente, *Journal of Educational Psycology*, cuja problemática era diferenciar historiadores novatos de historiadores especialistas, foi constatado que o grupo de novatos obteve maior rendimento em testes factuais, que exigiam apenas memorização de fatos e datas. Por outro lado, os especialistas competentes obtiveram rendimento bastante superior quando a tarefa era a análise de documento histórico, o que demanda habilidades mais profundas e sofisticadas. Foi também verificado que, uma vez que os especialistas procuram entender o problema em vez de pular imediatamente para estratégias de resolução, por vezes levam mais tempo que os principiantes para conseguir as respostas, porém, para o especialista, a resposta costuma ter um significado bem claro, enquanto o principiante nem sempre

consegue discorrer sobre o significado da resposta obtida. Outra característica importante do especialista competente é que ele costuma ter uma consciência bem definida do limite de seus saberes. Tem ciência do alcance de seu repertório de conhecimento, mas também conhece as ferramentas necessárias para aprender o que lhe falta.

Com base no exposto, podemos inferir que um ensino que vise ao desenvolvimento de habilidades parece se uniformizar com a formação de futuros profissionais especialistas e competentes. Um exame que apresente situações-problema contextualizadas parece, em princípio, favorecer estudantes que estejam no caminho de se tornar profissionais competentes. Verificar operações mentais que utilizem o conteúdo escolar como matéria-prima, em vez de verificar conteúdos memorizados e procedimentos automatizados, também parece ser o caminho para uma avaliação que instigue uma formação significativa do jovem estudante. Dessa forma, em que pesem todos os problemas estruturais e políticos que a iniciativa pioneira tem sofrido desde a sua concepção, é plausível pensar que o Novo Enem foi uma das medidas mais relevantes do governo na direção da melhoria do ensino no país e deverá ter grande impacto na qualidade de nossos futuros profissionais.

Avaliação e TRI

O Enem tem sua avaliação fundamentada na Teoria da Resposta ao Item (TRI), elaborada nos anos 1950 no campo da Psicologia, e cujo aperfeiçoamento possibilitou sua ampla utilização em avaliações nacionais e internacionais. No Brasil, além do Enem, a TRI é também utilizada para a elaboração do Exame Nacional para Certificação de Competências de Jovens e Adultos (Encceja), do Exame Nacional de Avaliação dos Estudantes (Enade) e da Prova Brasil (Sistema de Avaliação da Educação Básica). No exterior a TRI é utilizada na elaboração de exames importantes, como o exame SAT (teste educacional que serve de critério de ingresso nas universidades estadunidenses), o Toefl (teste utilizado para avaliar o potencial de falar e entender o inglês em nível acadêmico) e o Pisa (teste que avalia estudantes de todo o mundo em habilidades relacionadas à Matemática, às Ciências e à leitura).

No Toefl, por exemplo, os alunos marcam o horário em um dos centros credenciados e podem realizá-lo várias vezes ao ano. A prova é feita no computador, e cada candidato responde a um conjunto diferente de itens. Apesar de os candidatos receberem provas diferentes, todos os resultados são comparáveis entre si. Assim, em princípio, poderia ser dito que duas pessoas que obtiveram o mesmo *score* nesse teste, ainda que tenham realizado provas distintas, apresentam o mesmo potencial em falar e entender o inglês acadêmico. Outro exame importante, e com muitas características comuns com o Enem, é o SAT. Esse é um exame educacional padronizado dos Estados Unidos, aplicado para estudantes do Ensino Médio e que serve de critério para admissão nas universidades do país. O exame ocorre sete vezes ao ano. Novamente, apesar de aplicações realizadas em momentos distintos e com provas diferentes, a existência de uma escala-padrão viabiliza a comparabilidade de desempenho entre os alunos.

A maior razão pela escolha da TRI em detrimento de outras teorias clássicas sobre avaliação é justamente essa vantagem de admitir a elaboração de provas diferentes para o mesmo exame, as quais poderão ser aplicadas em momentos distintos graças ao fato de apresentarem o mesmo grau de dificuldade, assegurando assim a comparabilidade dos resultados. Outra grande vantagem é o fato de essa ferramenta ser adequada para avaliar habilidades em vez de conteúdos memorizados.

Nessa teoria, cada uma das questões de múltipla escolha da prova é denominada item. Diferentemente de um teste comum, a nota do Novo Enem não representa a simples proporção de itens que o estudante acertou na prova. A média obtida não depende apenas do número de itens respondidos corretamente. Essa média leva em conta também a dificuldade dos itens que se erra ou se acerta, além da consistência e da coerência entre esses acertos e erros. Até mesmo o acerto casual, o famoso chute, é previsto pela TRI. Parece contraditório uma pessoa ser capaz de nadar mil metros sem parar, mas não ser capaz de nadar quinhentos metros sem parar. Da mesma forma, espera-se que um candidato que responda corretamente a um item que exija domínio amplo de uma habilidade seja também capaz de responder corretamente a outro item que cobre a mesma habilidade, porém em um nível inferior. Caso isso não ocorra, a TRI considera que o acerto no item de alta complexidade possa ter sido casual (chute), e o cálculo do desempenho final leva isso em consideração. Sendo assim, dificilmente dois alunos que tenham acertado o mesmo número de itens conseguirão o mesmo resultado na média final.

Para que um item possa fazer parte da prova do Enem, o elaborador de item deve seguir uma lista de recomendações durante sua concepção. Hoje existem oficinas que visam preparar professores dispostos a elaborar um item com as características necessárias para se adequar ao Enem. Ainda assim, não é garantido que tal item tenha o nível de dificuldade esperado pelo elaborador ou a consistência exigida pela teoria. Por esse motivo, os itens são testados previamente. São distribuídos aleatoriamente em algumas escolas públicas do Ensino Médio antes de serem de fato utilizados na prova do Enem. Nesse pré-teste, a dificuldade e a validade do item estão atreladas ao número de acertos e à coerência de acertos entre os alunos. Itens que possuem muitos acertos possuirão baixo grau de dificuldade e vice-versa. Além disso, itens que não mantiveram a coerência são descartados. Se os percentuais de acertos e erros em um determinado item são muito próximos, tanto para alunos com alto rendimento final quanto para candidatos com baixo desempenho, aquele item é descartado, uma vez que sua consistência em se caracterizar como difícil ou fácil não pôde ser determinada. O conjunto dos itens aceitos passa então a pertencer ao banco de itens do Inep. A partir desse banco constroem-se as provas que serão utilizadas no Enem. O pré-teste determina também a probabilidade de acerto de um item validado. Em posse da probabilidade de acerto desses itens, para várias habilidades diferentes, é possível construir duas provas que, apesar de distintas, possuem a mesma dificuldade final. É justamente essa a característica que faz da TRI uma teoria apropriada quando se deseja comparabilidade entre provas.

Novo Enem e universidades públicas

O resultado do Novo Enem pode ser utilizado pelo aluno de várias maneiras. A partir de 2009, o exame serve até mesmo como certificação de conclusão do Ensino Médio para estudantes maiores de 18 anos. A prova também é feita por aqueles que têm interesse em ganhar bolsas integrais ou parciais em universidades particulares por intermédio do Programa Universidade para Todos (Prouni) ou para conseguir financiamentos pelo Fundo de Financiamento ao Estudante do Ensino Superior (Fies).

O uso mais importante, ou o mais frequente, do resultado do Enem pode ser o ingresso no nível superior de ensino, utilizado como único, alternativo ou complementar. Quem determina de que

forma o resultado do Novo Enem será usado é a própria universidade. O acesso do candidato ao Ensino Superior em universidades públicas brasileiras se dá pelo Sistema de Seleção Unificada (Sisu). Por esse sistema, totalmente *on-line*, os alunos podem se inscrever para as vagas disponíveis nas universidades brasileiras que aderiram ao Enem como forma única de ingresso. No entanto, como a utilização do Enem pelas universidades brasileiras é opcional, algumas delas ainda utilizam concursos vestibulares próprios para seleção dos seus candidatos. Apesar de cada universidade ter autonomia para aderir ao Novo Enem conforme julgue mais pertinente, o que se observa é uma quantidade cada vez maior de universidades, tanto públicas quanto privadas, utilizando o Novo Enem como forma única ou parcial de seleção.

Sites úteis sobre o Enem (acessos em: abr. 2016):

- Matrizes de Referência do Enem: <download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/downloads/2012/matriz_referencia_enem.pdf>.
- Provas dos anos anteriores do Enem: <http://portal.inep.gov.br/web/enem/edicoes-anteriores>.
- Notícias atualizadas sobre o Enem: <http://portal.inep.gov.br/todas-noticias>.
- Matrizes de Referência do Enem: <http://portal.inep.gov.br/web/enem/conteudo-das-provas>.
- Informações gerais sobre o Enem: <http://portal.inep.gov.br/web/enem/enem>.
- Informações sobre o Enem, o Prouni e o Pronatec: <http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=13318&Itemid=310>

5 Sugestões de aprofundamento

A complexidade do ato de ensinar somado às adversidades encontradas em sala de aula talvez resultem em um panorama que demande mais do que os quatro anos do curso de licenciatura pôde oferecer. Mesmo em uma perspectiva otimista, na qual a graduação para o magistério tenha oferecido uma base teórica sólida em educação e didática, além de proporcionar estágios que de fato submetam o futuro professor a cenas reais de ensino, ainda assim não há como assegurar resultados positivos no início da carreira. A transição da vida universitária para a profissional do ensino de Física costuma ser acompanhada mais de dúvidas que certezas, mais frustrações que realizações. Nas palavras do psicólogo educacional Lee Shulman, trata-se da difícil transição da condição de aprendiz experiente para a de professor principiante.

A verdade talvez esbarre no fato de que a Ciência da Educação seja mais complexa do que as Ciências Naturais. Os objetos de estudo da Física, por exemplo, são fenômenos bem delimitados, e seus agentes costumam ser de natureza inanimada, sem vida ou vontade própria. Em contrapartida, a didática enfrenta o desafio de compreender o comportamento humano perante o fenômeno da aprendizagem, o que a coloca em contato com elementos abstratos, difíceis de serem inferidos ou acessados, como pensamento, conhecimento, cognição, aptidão, representações mentais, entre outros. Por esse motivo, o corpo de conhecimento da didática não possui certezas indiscutíveis ou definições universalmente aceitas, mas sim linhas de pensamento que diferem entre si na explicação a respeito de situações de ensino e aprendizagem. Cabe ao professor a tarefa de estudar seus fundamentos para que se sinta apto a escolher a qual corrente deseja se afiliar, tomando como critério, além do próprio estudo, suas crenças pessoais e a realidade de seu alunado. Ao se considerar a complexidade, é razoável esperar que o tempo de licenciatura, por vezes, não seja suficiente para uma formação que edifique fundamentos didáticos, tampouco disponibilize momentos de prática nos quais o aspirante a professor possa construir uma base sólida de procedimentos. Esses saberes e vivências, que o professor vai incorporar apenas com tempo e dedicação duradoura, são justamente os fatores que lhe faltam e que lhe habilitariam a superar as dificuldades comumente encontradas nos primeiros anos de magistério. Na ausência desses fatores, o professor não enxerga outra saída senão modelar suas ações educacionais em experiências bem-sucedidas de colegas de trabalho ou no exemplo dos próprios professores de seus tempos de escola, ignorando boa parte daquilo que estudou na faculdade.

Se por um lado a boa intenção e o conhecimento recém-adquirido de quem se dispôs a estudar e estagiar adequadamente nos tempos da graduação não seja sinônimo de resultados positivos em sua prática, por outro desprezar os estudos modernos sobre ensino e aprendizagem certamente não é a escolha mais ponderada a se fazer. Acreditar no domínio da ciência física como ela se apresenta em âmbito escolar e como condição necessária para um ensino de qualidade é desconsiderar por completo a complexidade do processo didático. Ensinar Física demanda mais do que conhecimento sobre conceitos físicos, exige igualmente um conhecimento pedagógico amplo. É usual encontrar professores que se regozijam com a beleza de suas aulas, geralmente expositivas, por acreditarem que o aluno está a contemplar a mesma beleza que ele enxerga e vislumbra no conhecimento da Física. Não têm ciência de que personalidades e perfis intelectuais diferentes fazem com que os seres humanos respondam de forma também diferente quando expostos a um mesmo saber. Desconhecem ainda as implicações pedagógicas de uma transmissão puramente expositiva e não se ocupam em averiguar criteriosamente se seus alunos serão capazes de transferir o conteúdo ensinado por esse método para outros contextos, ou até que ponto esse conteúdo sobreviverá aos tempos não escolares. Paralelamente a essa forma de encaminhar o ensino de Física, reside a ideia de que o aluno vai aprender quando o professor expõe um tópico da maneira que ele mesmo, professor, o entende. Isso pode ser visto como uma generalização ingênua da cognição humana. Por trás desse raciocínio mora a crença de que a forma de entender as coisas é universal, o que não leva em consideração todos os estudos já consagrados sobre representações próprias, concepções espontâneas e esquemas mentais. A evolução cognitiva é tão peculiar ao indivíduo que generalizá-la desse modo seria o mesmo que admitir a existência de um caminho único ligando dois pontos distantes de uma grande cidade.

Em meio à complexidade dos processos de ensino e aprendizagem, que se buscou caracterizar, é natural que surjam as perguntas: qual é a saída? Como se tornar um profissional competente na área de Ensino?

Estabelecer uma resposta definitiva a tal questionamento seria contradizer o exposto. No entanto, parece ser consenso entre educadores existir algumas medidas que ajudam a amenizar as dificuldades inerentes a essa profissão. Pensadores reconhecidos por suas obras sobre Educação, como o brasileiro Paulo Freire ou o canadense Maurice Tardif, bem como o português António Nóvoa, apostam na continuidade do estudo e na regularidade da troca entre professores e educadores como ações imprescindíveis à vida profissional do professor:

Enquanto ensino continuo buscando, reprocurando. Ensino porque busco, porque indaguei, porque indago e me indago. Pesquiso para constatar, constatando, intervenho, intervindo educo e me educo. Pesquiso para conhecer o que ainda não conheço e comunicar ou anunciar a novidade.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia*: saberes necessários à prática educativa. Paz e Terra, 2012.

[...] *o tempo surge como um fator importante para compreender os saberes dos trabalhadores, uma vez que trabalhar remete a aprender a trabalhar, ou seja, a dominar progressivamente os saberes necessários à realização do trabalho.*

TARDIF, M. *Saberes docentes e formação profissional*. Petrópolis: Vozes, 2002.

Concluir o Magistério ou a licenciatura é apenas uma das etapas do longo processo de capacitação que não pode ser interrompido.

António Nóvoa em entrevista para a revista *Nova Escola*.

Essa formação vitalícia, no caso do professor de Física, está sustentada por quatro pilares: o estudo da Física, o estudo da didática, a troca profissional e a experiência de sala de aula.

Os três pensadores citados chamam a atenção para a importância da troca entre professores como fonte fértil e indispensável à formação continuada. Na visão deles, essa troca proporciona um estudo e uma reflexão que integram o conhecimento e a experiência de muitos, o que ajuda o professor a escolher metodologias melhores, a comparar práticas e a testar estratégias que lhe pareçam promissoras. Ou seja, perspectivas e pontos de vista de companheiros de trabalho podem enriquecer muito o repertório do professor. A análise conjunta, tanto do aparente fracasso quanto do aparente sucesso de casos reais de sala de aula, poderá auxiliar o professor na tomada de decisões mais seguras e fundamentadas nos rumos que deseja imprimir à sua prática. Mesmo o ato de compartilhar angústias e decepções sobre planejamento e avaliações pode desempenhar um importante papel nessa troca, uma vez que pode ser para o professor uma forma de acolher e de se sentir acolhido, de se perceber como parte de uma classe, o que colabora emocionalmente para a manutenção da perseverança necessária à carreira docente. Outro aspecto a ser explorado com essa troca é o estudo coletivo de livros e textos acadêmicos, o que ajuda a consolidar concepções sobre metodologias e teorias educacionais. Enfim, esses momentos de cooperação e estudo conjunto com colegas de profissão, se levados com regularidade e profissionalismo, favorecem a sinergia entre a motivação e o conhecimento moderno do principiante, com a maturidade, a sabedoria e a vivência dos professores experientes.

A sala de aula é outro espaço de aprendizagem em potencial para o professor. Uma prática consciente, em que existe a preocupação explícita em planejar e validar resultados, se opõe a uma prática mecânica e impensada. A primeira acelera o aprimoramento do trabalho do professor. Combinar o estudo pedagógico teórico com um planejamento refletido, seguido da implantação em sala de aula, é uma maneira de transformar possíveis frustrações em aprendizagem real, de discernir entre aquilo que pode dar certo daquilo que não encontra espaço no ensino. A experiência de sala de aula, quando acompanhada de uma reflexão embasada teoricamente e uma análise de resultados, amplia a bagagem de estratégias de ensino, além de ser uma forma de o professor manter ativas funções cognitivas essenciais ao seu ofício. Em contrapartida, anos de prática de sala de aula, se vistos como mera rotina profissional, podem comprometer não somente a qualidade do ensino, mas também a própria saúde intelectual desse profissional que, por pressuposto, deveria ser exemplo de proatividade mental para seu aluno.

A prática consciente e refletida e a troca entre colegas de profissão são dois pilares que devem caminhar de mãos dadas com o estudo da didática e o estudo da Física como ciência. Esses outros dois pilares, por sua vez, são impulsionados por um senso de compromisso individual do professor. Não dependem de provisões externas, infraestrutura sofisticada ou espaços coletivos de estudo. Deveriam ser encarados como hábitos pelo professor que deseja aperfeiçoar constantemente seu trabalho. O estudo da didática, de práticas educativas, tem o papel de fomentar teoricamente o professor com estratégias que lhe permitem: acessar as representações que seus alunos trazem a respeito do mundo, conhecer ferramentas e métodos que direcionem suas aulas, escolher melhor a ordem de ações que visam ao ensino de um tema qualquer, conhecer as dificuldades típicas e os obstáculos didáticos de determinado assunto, avaliar seus alunos adequadamente e redirecionar a trajetória de ensino escolhida quando necessário e, por fim, proporcionar ambientes e situações que promovam uma atmosfera saudável de aprendizagem. Se por um lado o estudo da Física sem o conhecimento pedagógico correspondente não assegura um ensino de qualidade, por outro o estudo permanente dessa ciência traz benefícios claros ao professor da disciplina. Esse estudo amplia o *hall* de exemplos e contraexemplos que propiciam um ensino mais contextualizado de leis e conceitos físicos, ao mesmo tempo que aumenta o repertório de palavras e símbolos que ajudam a clarificar temas complexos. Ou seja, para desenvolver e aplicar ferramentas pedagógicas eficientes, o professor, além do conhecimento pedagógico, deve estar familiarizado com o discurso da sua disciplina, no caso, a Física. Essa ciência representa um dos domínios mais extensos e complexos do patrimônio cultural humano, daí a necessidade de um estudo contínuo, permanente. Ainda que o currículo de Física do Ensino Médio se limite na sofisticação do ferramental matemático utilizado, e que a Física moderna e contemporânea sejam discutidas apenas superficialmente, ainda assim, uma compreensão mais aprofundada da Física pelo professor certamente o auxiliará na escolha de exemplos, na seleção de tópicos e na adequação da linguagem utilizada. Além disso, o estudo aprofundado da Física vai necessariamente esbarrar em campos de conhecimentos de fronteira que se relacionam ou usam os conceitos da Física. Assim, o professor de Física encontrará em seu caminho saberes não somente das ciências mais próximas, como a Biologia ou a Química, mas também poderá deparar com o estudo da história da ciência, ou de tópicos de Engenharia ou ainda conhecimentos da arte e da música. Todo esse conhecimento, quando ordenado e reunido à luz de conhecimentos pedagógicos, remete a uma ampliação de possibilidades para o professor. Prepara-o para passar a visão dessa ciência como uma dentre as formas de aquisição de cultura da humanidade. Capacita o professor a mostrar o papel da Física na construção e no desenvolvimento de tecnologias que ajudam a modificar e melhorar a vida em sociedade. Além disso, quando o professor aceita o desafio do estudo contínuo dessa ciência, certamente enfrentará dificuldades para entender conceitos modernos da Física. O trabalho e a energia gastos em seu estudo poderão reavivar sentimentos próprios desse processo, os quais decorrem do duelo mental com as dificuldades inerentes à aprendizagem, tornando o professor mais sensível às dificuldades de seus alunos. Finalmente, uma vez vencido o duelo com as dificuldades, o estudo regular de conceitos físicos conduz também à sensação de surpresa e espanto que geralmente acompanha o

entendimento de fenômenos naturais. Inspirados por essa sensação, os professores costumam ficar mais desejosos por conceber rotas de aprendizagem que levem seu aluno a experimentar, por meio da descoberta própria, as mesmas emoções que frequentemente nascem do ato de conhecer e de aprender algo novo.

De maneira resumida, os professores experientes e competentes conhecem os tipos de dificuldade que os alunos provavelmente enfrentarão e são conscientes de que não são necessariamente os mesmos com que ele, professor, deparou quando estudou aquele conteúdo pela primeira vez. Além disso, sabem extrair o conhecimento prévio de seus alunos, a fim de tornar significativa a nova informação. Sabem avaliar o progresso dos estudantes. Esses professores adquiriram conhecimento de conteúdo e conhecimento pedagógico. O desenvolvimento dessas virtudes no educador acontece apenas com grande investimento de tempo, energia, prática, troca, estudo e reflexão. Embora seja comum o pensamento de que o "talento" contribui para formar um especialista em determinada área, mesmo indivíduos aparentemente talentosos necessitam de muita prática e estudo para construir competência em seu campo de atuação.

Estando cientes da dificuldade da profissão no Brasil, compreendemos que a dedicação a uma formação contínua e regular é quase utópica. No entanto, a necessidade não deve ser encarada como um fardo, mas sim como oportunidade para aprender e se aprimorar. Trata-se de uma condição que requer certo grau de idealismo e um senso aguçado de responsabilidade. O idealismo e a responsabilidade poderão surgir e se alimentar da conscientização da importância da profissão. O dever do professor de Física está ligado à transferência de um conhecimento maravilhoso, adquirido por toda a humanidade e que tem servido para transformar a vida da civilização. Um conhecimento que escapa ao senso comum e que torna factíveis feitos inimagináveis, mas que ao mesmo tempo tem o potencial de explicar as coisas mais simples do dia a dia. Professores que se mostram incansáveis na tarefa de ensinar Física e procuram cumprir com naturalidade as exigências levantadas geralmente concordam no que diz respeito às recompensas da profissão. Entendem como parte da realização profissional o despertar de um aluno para o conhecimento como um ganho inestimável para o progresso da nação. Cada aluno seu que decida se tornar um físico, como lenitivo para o cansaço de um dia de trabalho, cada aluno que reconhece, por intermédio de suas aulas, a harmonia e a beleza do cosmos.

Leituras sugeridas

Algumas sugestões de leitura, *sites* e passeios que poderão ser utilizados como fonte de estudo e pesquisa para professores que ambicionam ampliar seu repertório tanto da área da didática como da Física propriamente dita.

– **Para aprofundar-se nos fundamentos da Física básica:**

Curso de Física básica – H. Moysés Nussenzveig – Editora Edgar Blucher

Fundamentals of Physics – Halliday, Resnic, Walker – Editora Wiley

Fundamentos de Física conceitual – Paul G. Hewitt – Editora Bookman

Lectures on Physics – Feynman, Leighton, Sands – Editora Addison Wesley

– Leituras diversificadas em Física e ciências correlatas:

A longa marcha dos grilos canibais – Fernando Reinach – Editora Companhia das Letras

A matéria: uma aventura do espírito – Luis Carlos de Menezes – Editora Livraria da Física

As fantásticas invenções de Nikola Tesla – David Hatcher – Editora Madras

As ilusões da vida: a estranha ciência do extremamente comum – Jay Ingram – Editora Ediouro

Biofísica: conceitos e aplicações – José Enrique Rodas Duran – Editora Pearson

Física do impossível – Michio Kaku – Editora Rocco

Física mais que divertida – Eduardo de Campos Valadares – Editora UFMG

Física moderna – Tippler, Llewellyn – Editora LTC

Física para ciências biológicas e biomédicas – Okuno, Caldas, Chow – Editora Harbra

O circo voador da Física – Jearl Walker – Editora LTC

O grande projeto – Stephen Hawking – Editora Nova Fronteira

Os objetos frágeis – Pierre-Gilles de Gennes – Editora Unicamp

Quântica para iniciantes – Alves, Mateus, Paula – Editora UFMG

Química das sensações – Faria, Retondo – Editora Átomo

Rising Force: The Magic of Magnet – James D. Livingston – Editora Harvard University

Temas atuais de Física – coleção da SBF com 7 volumes e vários autores – Editora Livraria da Física

The Physics and Chemistry of Color – Kurt Nassau – Editora Wiley Inter-science

– Para aprofundar-se em história da ciência:

Evolução das ideias da Física – Antonio S. T. Pires – Editora Livraria da Física

História da ciência – John Gribbin – Editora Europa América

O que é ciência afinal? – Allan F. Chalmers – Editora Brasiliense

Os 100 maiores cientistas da história – John Simmons – Editora Difel

– Para aprofundar-se em didática e ensino:

A didática das ciências – Astolfi, Develay – Editora Papirus

A pedagogia da autonomia – Paulo Freire – Editora Paz e Terra

Como as pessoas aprendem – Bransford, Brown, Cocking – Editora Senac

Construir as competências desde a escola – Philippe Perrenoud – Editora Artmed

Inteligências múltiplas: a teoria na prática – Howard Gardner – Editora Artmed

Mediação da aprendizagem na educação especial – Meier, Budel – Editora IBPEX

Pesquisa na escola – Marcos Magno – Editora Loyola

Saberes docentes e formação profissional – Maurice Tardif – Editora Vozes

Tive uma ideia! – Monica Martinez – Editora Paulinas

– *Sites* recomendados. Acessos em: abr. 2016

- *Site* oficial do MEC:
<www.mec.gov.br/>
- Portal do Professor do MEC:

<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/index.html>
- *Site* do MEC que contém milhares de objetos educacionais:
<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/handle/mec/33/browse?type=title&s=d>
- Livro do Gref na forma digital:
<http://fisica.cdcc.usp.br/GREF/livros.html>
- Videoaulas oferecidas pela Unicamp:
<http://cameraweb.ccuec.unicamp.br/videos>
- Videoaulas oferecidas pela USP:
<http://eaulas.usp.br/portal/home>
- Videoaulas oferecidas pelo Instituto de Física da USP:
<http://video.if.usp.br/video-aulas>
- Conteúdo digital oferecido pela UFSC:
<http://repositorio.ufsc.br/>
- Simulações da Universidade do Colorado (PHET):
<http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/new>
- *Site* sobre a Física de partículas:
<www.particleadventure.org/index.html>
- *Site* com videoaulas em inglês de todas as disciplinas escolares e de alguns cursos universitários:
<www.khanacademy.org/>
- Publicações *on-line* da Sociedade Brasileira de Física:
<www.sbfisica.org.br/v1/index.php?option=com_content&view=article&id=244&Itemid=192>
- Periódico Caderno Brasileiro de Ensino de Física:
<www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>
- Periódico Investigação em Ensino de Ciências:
<www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>
- Portal de busca de periódico da Capes:
<www.periodicos.capes.gov.br/>
- Associação Brasileira de Educação a Distância:
<www2.abed.org.br/>
- Para fazer o *download* de *software* usado para construir e compartilhar mapas conceituais:
<http://cmap.ihmc.us/download/>
- *Site* sobre novas tecnologias em educação:
<www.gente.eti.br/site/>
- Laboratório Didático Virtual:
<www.labvirt.fe.usp.br/indice.asp>

– Passeios culturais

Catavento cultural:
<www.cataventocultural.org.br/home>
Espaço Ciência:
<www.espacociencia.pe.gov.br/>
Estação Ciência:
<www.eciencia.usp.br/>
Sabina Escola Parque do Conhecimento de Santo André:
<www2.santoandre.sp.gov.br/page/143/42>
Parque Cientec:
<www.usp.br/cientec/>
Show de Física Unesp:
<www.rc.unesp.br/showdefisica/showfis.php>
Show de Física USP:
<www.cepa.if.usp.br/showdefisica>

6 Linha pedagógica da Coleção e estrutura da obra

A interação didática entre professor, livro e aluno

Neste tópico é importante que se mantenha em mente a dinâmica de interação entre professor, livro e aluno. No processo, é comum que o professor utilize o livro como uma das principais fontes de conhecimento e atividades para o ensino, enquanto o aluno o utiliza para estudo, para consulta e como fonte de pesquisa, enfim, como meio para a aprendizagem. Também frisamos que o livro é apenas um dos elementos que contribuem para um ensino de qualidade, elemento que equilibra e complementa outros, como estrutura e ambiente apropriado, preparo cuidadoso do plano de ensino, assim como o engajamento a um plano de aprendizagem por parte do aluno. Vale lembrar ainda que resultados positivos dependem do grau de intimidade que o professor possui com o livro, intimidade obtida pela consciência dos objetivos e das premissas pedagógicas de suas diferentes seções. Com isso queremos dizer que o uso adequado do livro pelo professor requer não somente a leitura de seu conteúdo interno, mas também a pré-leitura deste Manual.

Escolhas pedagógicas

Durante o processo de composição da obra preocupamo-nos em considerar fatores que contribuíssem para um ensino de Física relevante. Julgamos pertinente considerar o perfil da juventude brasileira, que possui como um dos principais atributos a heterogeneidade, tanto na esfera cultural e econômica quanto no nível da formação educacional com que chegam ao primeiro ano do Ensino Médio. Outro aspecto que levamos em consideração foram as funções que o ensino de Física, conforme descrito no tópico 2, devem desempenhar nessa fase escolar, funções ligadas tanto a ganhos intelectuais quanto à alfabetização tecnocientífica. O terceiro, e o mais difícil, elemento que levamos em conta representa o desafio de conceber um material capaz de auxiliar o professor na complexa tarefa de motivar seu aluno a querer aprender. Um material que subsidie o professor que objetiva estimular a curiosidade do estudante, esta que, por razões diversas, parece estar adormecida em alguns jovens do Ensino Básico.

Durante a redação dos capítulos e da escolha das atividades propostas, buscamos visualizar de que maneira abordagens e enfoques diferenciados poderiam facilitar um ensino que tivesse por pressuposto a atenção a esses três fatores. É bem verdade que a obra não se afiliou a uma corrente pedagógica em particular, tampouco se ateve em seguir os passos de alguma teoria educacional. No entanto, procuramos, dentro do limite imposto pela profundidade e extensão da Física em âmbito escolar, disponibilizar diferentes seções que municiassem o professor com possibilidades variadas de abordagem de determinado assunto. A ideia por detrás da escolha é: tendo consciência das características peculiares do seu alunado, você será capaz de reconhecer o valor pedagógico das várias seções, bem como a maneira e o momento mais apropriado de conectá-las às estratégias de ensino. Nosso esforço foi direcionado ao preparo de um material que tivesse como ser explorado em diferentes ce-

nários educacionais, que viabilizasse o ensino para diferentes culturas e diferentes perfis cognitivos. A tentativa de concretizar uma obra abrangente em possibilidades, na forma de um conjunto diversificado de atividades, textos e exercícios, justifica-se pela expectativa de abarcar as necessidades expostas no parágrafo anterior, ou seja, contemplar diferenças e diferentes, subsidiar um ensino que objetive a alfabetização tecnocientífica e fornecer elementos que possam ser usados para motivar o estudo. Acreditamos que a multiplicidade de atividades que nos empenhamos em disponibilizar na obra possa atender a dois dos fatores mencionados. Essa multiplicidade viabiliza diferentes encaminhamentos de ensino exigidos pela realidade heterogênea, ao mesmo tempo que proporciona os recursos necessários para um ensino que favoreça a alfabetização tecnocientífica. Isso ocorre porque os inúmeros recortes epistemológicos que podem ser atribuídos a uma mesma lei ou teoria física podem, todos eles, ser discutidos no livro por meio de propostas didáticas também diferenciadas. Ao proceder assim, o pluralismo de atividades sugerido, e que está presente nas diversas seções da obra, oferece a oportunidade de uma formação completa ao estudante. Entendemos que essa ideologia potencializa o acatar às diferenças e aos diferentes, mostra-se adequada ao professor que toma para si o desafio de ensinar Física e entende essa ciência natural como um possível elemento equalizador da heterogeneidade escolar. Os diferentes recortes aos quais nos referimos possibilitam pontos de vista complementares de uma mesma lei ou conceito; além disso, admitem abordagens em profundidades também distintas. Esse espectro de possibilidades e profundidades pode ser explorado pelo professor que reconhece o nível de maturidade intelectual momentâneo de seu aluno, escolhendo o modo como a sequência de leituras e atividades é mais pertinente. Ao mesmo tempo, esse enfoque pluralista pode ser utilizado pelo professor que tem como meta a aprendizagem holística do aprendiz. As diferentes seções propiciam o desenvolvimento de habilidades cognitivas distintas que, quando reunidas, ajudam o estudante a se inserir no mundo das Ciências Naturais, a dominar os símbolos e a lógica da Física, enfim, a alfabetizar-se técnica e cientificamente enquanto aprimora suas funções cognitivas.

Como dissemos, esforçamo-nos, igualmente, em construir um material que se mostrasse proveitoso ao professor que deseja aguçar a curiosidade de seu aluno. Para tanto, tomamos o cuidado, durante a redação dos textos e da seleção dos exemplos e atividades, em aproximar a Física ensinada ao mundo vivencial do aluno, toda vez que isso nos pareceu factível. Essa aproximação deu-se tanto pelo tratamento de fenômenos naturais presentes no cotidiano imediato do estudante quanto pela escolha de tecnologias conhecidas e já consagradas pela sociedade. Outra tática usada para esse fim motivacional foi apresentar elementos que se opusessem à intuição e ao senso comum. Com frequência, os saberes da Física e das Ciências Naturais contradizem o pensamento comum. As representações primeiras dos indivíduos, geralmente, não condizem com os conhecimentos científicos. Como discutido no tópico 2 deste Manual, o conhecimento físico é construído, elaborado, e exigiu um esforço coletivo da comunidade científica para que fosse concretizado. Muitas vezes, esses saberes possuem uma sofisticação e um grau de abstração não alcançado pelo senso comum. Muito embora as representações mentais e concepções espontâneas de cada um sirvam para que o cidadão interaja e conviva dentro de sua realidade, raramente as mesmas concepções se sustentam quando chamadas a explicar ou prever resultados ainda que simples dessa realidade. Se utilizada com cautela, a incompatibilidade comumente encontrada na cognição humana, entre conhecimento próprio e saber científico, pode ser aproveitada para despertar no aluno a curiosidade de querer encontrar uma explicação para aquilo que seus esquemas mentais não dão conta de explicar. Naturalmente a cautela mencionada está relacionada ao trabalho do professor, e sua adequação como estratégia de ensino será discutida no tópico reservado para esse fim, contudo nos esforçamos em disponibilizar no livro elementos contraintuitivos toda vez que nos parecesse plausível. Dessa forma, esperamos que o professor use adequadamente os elementos de aproximação do mundo vivencial e os elementos contraintuitivos, com o objetivo de despertar no aluno o interesse e o gosto pelo estudo da Física. Do mesmo modo, esperamos que a realização das atividades e das leituras que contêm esses elementos instigue o estudante na aventura de compreender o mundo das Ciências Naturais e favoreça seu comprometimento com seu plano de aprendizagem, assegurando assim a eficiência das estratégias escolhidas pelo professor durante sua ação pedagógica.

Distribuição de conteúdos

Apesar de a lista de conteúdos da obra seguir a distribuição clássica dos livros didáticos, algumas alterações na ordem dos capítulos sobre Eletricidade foram feitas visando a um sequenciamento que nos pareceu mais apropriado para o melhor entendimento do aluno. Além disso, a Coleção apresenta, além dos capítulos sobre Física moderna que já costumam figurar nos livros atuais, como, por exemplo, Física quântica e relatividade, outros que raramente são encontrados em livros didáticos de Física; são eles: O Sistema Solar e a Terra, Máquinas simples, Energia solar e Impactos ambientais, a Física da informação, Física nuclear, Cosmologia e Partículas elementares. Esses capítulos adicionais foram inseridos por incorporarem problemas atuais, assim como temas e tecnologias modernas, o que facilita a aproximação dos conceitos físicos com o mundo vivencial do aluno, aproximação cuja importância foi frisada nos parágrafos anteriores.

Estrutura da obra

Cada volume da Coleção está dividido em quatro unidades cujos capítulos foram escolhidos por afinidade de conteúdo e traz um infográfico para auxiliar o aluno na leitura desse método de exposição de informação.

A página de abertura de cada capítulo contém sempre uma figura e uma pergunta aberta, com o objetivo de situar o aluno no tema que será trabalhado em seguida, bem como proporcionar um primeiro estímulo à reflexão sobre o assunto que será visto. Possíveis respostas às perguntas abertas são disponibilizadas no Manual do Professor, que poderá utilizá-las na forma de sugestão de trabalho em classe, como início de um plano de aulas ou ainda como fechamento do assunto. A escolha do modo como utilizar essas perguntas ou outras partes do livro deve sempre atentar para a harmonia entre livro, estratégias didáticas escolhidas e necessidades de aprendizagem do aluno.

Após a página de abertura, cada capítulo inicia com um texto cuja linguagem e exemplos dados foram pensados pelo bem do entendimento do aluno que estuda o assunto pela primeira vez, mas traz representações já formadas sobre alguns dos conceitos e dos fenômenos que serão abordados. O texto inicial tem como intuito mostrar ao aluno que o assunto a ser visto tem certo grau de relação com seu mundo vivencial, além de servir também para introduzir termos e símbolos próprios do tópico em questão. Entendemos a aproximação com a realidade do aprendiz como uma das formas de conferir sentido e significado aos conteúdos que serão estudados. Apenas a título de exemplo, iniciamos o estudo da Cinemática pela relação existente entre o conforto em viagens e os conceitos de velocidade e aceleração;

na Eletricidade, iniciamos o capítulo pela questão da instalação elétrica residencial e pela observação de eletrodomésticos simples.

Após o texto introdutório, o desdobramento de cada capítulo se dá pela inserção de sugestões de exercícios propostos, exercícios resolvidos e seções diferenciadas. Esses recursos aparecem na quantidade e na ordem que, em nosso julgamento, parecia favorecer uma aprendizagem temperada por conteúdos conceituais, procedimentais e históricos da Física. Além disso, a escolha das atividades foi sempre feita com foco nas habilidades que poderiam ser desenvolvidas a partir dos conteúdos do capítulo em questão, assim como na construção de competências que seriam necessárias em capítulos posteriores. A profundidade conceitual e a sofisticação matemática crescem de forma gradativa ao longo do livro, sempre de modo que os assuntos trabalhados anteriormente possam fornecer subsídios para o conteúdo em pauta. Ainda assim, conceitos e equações foram retomados em alguns momentos de maneira a contribuir para o entendimento de um novo fenômeno ou para o aprofundamento de algum assunto.

Como discutido no item Escolhas pedagógicas, as seções e as atividades da Coleção visam proporcionar abordagens diferentes e complementares de leis e conceitos físicos. Assim, um mesmo conteúdo é visto do ponto de vista histórico, do ponto de vista social e moderno, além de serem trabalhados seus aspectos conceituais e procedimentais, tendo em mente a interpretação científica de fenômenos, a expressão adequada da linguagem e o exercício da cidadania. Uma das formas que utilizamos para conseguir essa diversidade de abordagens foi a proposição de debates sobre o impacto da ciência, em especial da Física, na sociedade contemporânea. Como exemplo podemos citar temas que, por colaborarem diretamente nessa influência em nossa vivência diária, vimos por bem tratar ao longo da coleção: Trânsito, GPS, Economia de energia, Ondas eletromagnéticas e Efeito fotoelétrico.

Ao longo das páginas de cada volume foram disponibilizadas propostas de leitura que poderão ser requisitadas como tarefa de casa para o aluno. A finalidade dessas propostas varia desde um complemento de assunto que careceria de maior disponibilidade de tempo para que fosse trabalhado até o oferecimento de textos que ajudem a desenvolver gosto por leituras de cunho científico e histórico.

Os exercícios sugeridos em cada capítulo foram selecionados de forma que suas soluções demandem o domínio do assunto em pauta em perspectivas diferentes, sem privilegiar algum enfoque em particular, como, por exemplo, o enfoque matemático, tão acentuado em exercícios de vestibular. Assim, exercícios desse tipo foram selecionados apenas quando acreditamos que poderiam contribuir para essa visão holística da aprendizagem de conceitos físicos.

Seções presentes na obra

As seções existentes na obra estão distribuídas entre os exercícios e os textos dos capítulos e se apresentam na forma de propostas de atividades, de experimentos, de leituras, de pesquisas, entre outras. Tais seções ajudam a promover a visão integral da Física. Além disso, as seções tomam os conteúdos trabalhados no capítulo e os utilizam como matéria-prima para gerar ocasiões que auxiliem no desenvolvimento de habilidades.

A seguir apresentamos cada uma das seções, descrevendo o tipo de atividade presente, sua razão didática, bem como possíveis usos que o professor e o aluno podem fazer delas.

Compreendendo o mundo

Traz fenômenos cujos saberes e procedimentos de outras Ciências Naturais são tão relevantes quanto os físicos para que se alcance sua compreensão. O objetivo é mostrar a relação entre os saberes das Ciências Naturais e outras ciências e desse modo fornecer meios para que o aluno perceba a artificialidade da fragmentação disciplinar, ao mesmo tempo que entenda a necessidade didática dessa separação.

Em construção

Biografia de um ou mais personagens da Física, tem caráter mais informativo do que formativo, com a intenção de mostrar ao estudante que grandes nomes da ciência foram indivíduos comuns, com suas características sociais, culturais e ideológicas próprias além de mostrar que a vida profissional desses cientistas, assim como a vida de todos nós, costuma ser repleta de idas e vindas, erros e acertos, desmitificando a possível imagem ingênua do cientista genial, perfeito, ideal.

Trabalho em equipe

Propõe um trabalho, geralmente de pesquisa orientada, a ser realizado em duplas ou em equipes maiores, e cujo objetivo é oferecer uma oportunidade de desenvolvimento de habilidades importantes tanto para a futura vida profissional quanto para o convívio social saudável. São habilidades essenciais, como, por exemplo, a seleção de informação, a argumentação de pontos de vista distintos, a exteriorização verbal e escrita de ideias, assim como a negociação e o debate de possíveis significados para uma mesma lei ou conceito. A orientação da proposta é encaminhar o grupo à solução consensual de uma situação-problema que solicita a aplicação de conhecimentos específicos do capítulo.

Física tem história

Apresenta o entorno tecnológico, político, social, econômico, religioso e cultural da construção das teorias físicas. Dessa forma pretendemos tornar o desenvolvimento dinâmico da ciência e a evolução de suas ideias uma parte integrante do assunto abordado. Os aspectos metodológicos do "fazer" Física são explicitados com o intuito de conflitar tanto a visão tradicionalista dos passos preconcebidos do método científico quanto a visão excessivamente positivista da ciência.

Física explica

Traz fenômenos naturais e tecnologias cuja explicação e funcionamento evidenciam o uso de leis e conceitos físicos trabalhados no capítulo. A seção tem por objetivo ser uma das ocasiões em que se procura estabelecer um vínculo com o cotidiano do aluno, além de utilizar aplicações da Física como meio de conferir sentido e significado a suas leis e seus conceitos.

Ampliando

Conforme dissemos anteriormente, buscamos, no decorrer dos textos dispostos em cada capítulo, atentar para o uso de uma linguagem que fosse acessível ao aluno, que facilitasse a interpretação da mensagem a ser transmitida. No entanto, alguns termos não triviais são utilizados por serem os mais apropriados no contexto do tema trabalhado. Dessa forma, entendemos o uso da terminologia específica como oportunidade para ampliar e aprofundar o vocabulário científico ou não científico do estudante. Esse boxe, em forma de glossário, destina-se a definir, conceituar e exemplificar muitas dessas palavras que, provavelmente, são novas para estudantes do Ensino Médio.

Experimento

As atividades experimentais em ensino de Física costumam ser vistas como estratégia de destaque entre os educadores, dado o seu potencial em simular e reproduzir fenômenos naturais no ambiente de sala de aula, além de facilitar a visualização e o entendimento de conceitos abstratos e complexos. Além disso, tornaram-se famosas por possibilitarem que os alunos desenvolvam habilidades supostamente necessárias para o bem fazer da ciência, como observar, identificar, selecionar, formular e testar hipóteses e modelos, contribuindo assim para o exercício da autonomia, virtude que ocupa alto grau de hierarquia na escala de competências. A seção tem como propósito sugerir atividades desse tipo que possam ser implantadas em sala de aula ou em ambiente de laboratório. Dependendo do assunto tratado, as sugestões diferenciam-se no encaminhamento recomendado. A Coleção conta com sugestões de experimentos que vão desde uma simples demonstração ou verificação de fenômenos e leis até atividades de cunho mais investigativo, em que o aluno é chamado a observar, formular hipóteses, testar, enfim, colocar em prática as habilidades mencionadas. No entanto, em concordância com aquilo que foi discutido ao final do primeiro tópico, preferimos uma postura mais prudente em relação aos experimentos investigativos; assim, muitas propostas de experimentos necessitam de sua assistência antes que a autonomia seja atingida.

Retomando

Ao término do capítulo são colocadas questões, perguntas abertas e sugestões de investigação que requerem, além do domínio dos principais conceitos vistos ao longo do capítulo, a capacidade de propor soluções mais criativas que as tradicionais. São propostas que auxiliam na prática de habilidades mais sofisticadas, uma vez que tais habilidades devem estar acompanhadas de um domínio conceitual também mais amplo. Habilidades genéricas, como identificar, comparar ou relacionar, têm sua complexidade determinada pelo nível do conhecimento que as complementa. **Relacionar** as grandezas espaço e tempo em um movimento uniforme é certamente uma habilidade menos complexa do que **relacionar** características geométricas do condutor com a intensidade de corrente elétrica induzida pela variação de fluxo de campo magnético na região onde ele se encontra. Esta última, por sua vez, talvez seja menos complexa do que a habilidade de **relacionar** as características físicas de uma casa de *show* com a musicalidade que ela oferece a sua audiência. Questões mais abertas e mais próximas da realidade do aluno, mas que exijam habilidades sofisticadas como estas últimas, quando trabalhadas de forma séria e regular, podem preparar para o modelo de prova do Novo Enem, além de colaborar para a formação completa que a Física pode oferecer aos seus estudantes.

7 Discussão sobre avaliação

De forma geral, a escola tradicional procura detectar, em suas avaliações, as habilidades e os saberes adquiridos por meio de duas entre as múltiplas inteligências presentes na cognição humana: a inteligência linguística e a lógico-matemática. As duas inteligências, por estarem ligadas à capacidade de redigir textos de forma clara, de manipular símbolos e de elaborar soluções para questões objetivas, são mais facilmente testáveis que as demais. Apesar da abrangência de sentidos para a palavra **inteligência**, sua definição formal, em um primeiro momento, auxilia no entendimento de possíveis funções e contextos da avaliação no ambiente escolar. Para Gardner, psicólogo já citado no tópico 3, inteligência é a capacidade de resolver problemas ou elaborar produtos que sejam valorizados em um ou mais ambientes culturais ou comunitários. Ele defende a existência de outras cinco inteligências de mesmo *status* cognitivo das duas inteligências costumeiramente avaliadas na escola. São elas: as inteligências espacial, musical, cinestésica-corporal, interpessoal e intrapessoal. Nessa forma de entender a cognição, uma verdadeira legião de injustiçados teria deixado a escola com a certeza ilusória de que sua inteligência está muito aquém da inteligência média, sem se dar conta de que, na verdade, as inteligências inferidas na fase escolar são apenas as duas mencionadas. É muito provável que todos nós, brasileiros, tenhamos enfrentado o mesmo sistema avaliativo durante os anos escolares. Há de se dizer, contudo, que o impacto psicológico maléfico que o demérito social pode ter provocado naqueles que não manifestavam naturalmente as duas inteligências deve ser enorme e, talvez, irrecuperável. No outro extremo estão aqueles que, por não conhecer as dimensões múltiplas da cognição humana, deixam a escola considerando-se mais "sabidos" que os seus colegas quando, possivelmente, apresentavam apenas uma aptidão maior para duas entre as múltiplas inteligências. Não é necessária uma teoria epistemológica ou cognitiva muito profunda para perceber a falta de validade da avaliação nesses moldes, basta que verifiquemos o futuro daqueles que apresentavam baixo rendimento escolar. Que poderia ser dito a respeito de artistas, cantores, comerciantes, bailarinas, marinheiros, cabeleireiros, atletas, enfim, indivíduos que podem muito bem ter atingido patamares elevados de sucesso profissional em suas carreiras, mas que não necessariamente conseguiam boas notas na escola? Não seriam eles igualmente inteligentes? Não conseguiram eles usar seus recursos cognitivos para produzir produtos e resolver problemas que tivessem valor no ambiente cultural e comunitário em que vivem? A supervalorização da inteligência linguística e da inteligência lógico-matemática em detrimento das demais acaba passando a visão, replicada pela sociedade, de que inteligente é aquele sujeito que sabe resolver problemas de Matemática, Física, Química e Lógica. Esse malogro educacional, encontrado não apenas em nível nacional, mas também mundial, faz com que as outras capacidades advindas das outras dimensões intelectuais não ganhem o suporte educacional que precisam para se desenvolver na época escolar, ficando, com frequência, obscurecidas durante a juventude. O aflorar das outras cinco inteligências se dá ao sabor do acaso e das circunstâncias da vida que demandem seu uso, sem um suporte pedagógico esquematizado para que sejam fortalecidas de forma sistemática. Não é preciso grandes esforços para iniciar um movimento de evolução no espírito da avaliação escolar. A simples conscientização da pluralidade da cognição humana já poderia promover uma mudança na postura do professor, que poderia atentar para comportamentos que refletissem as outras capacidades. Avaliar o aluno somente por seu rendimento na resolução de problemas que exigem um elevado patamar de sofisticação matemática tem o mesmo grau de pertinência que avaliar um vendedor somente por sua destreza em calcular impostos sobre seus produtos, ou um boxeador pelo impacto de seus ganchos

de direita; claramente fica faltando uma visão de outros atributos igualmente relevantes para o cumprimento de suas funções.

Outro panorama que nos sentimos obrigado a descrever diz respeito à maneira de avaliar, a que Gardner atribui o nome de "testagem". A testagem seria a padronização do sistema avaliativo, ou seja, o costume de realizarem provas iguais para alunos diferentes, com tempo preestabelecido, com questões descontextualizadas, privilegiando as inteligências mencionadas. Por que avaliar todos com os mesmos instrumentos se somos todos diferentes? Por que esperar que todos cheguem preparados no momento exato da avaliação? Por que não considerar a influência de outras características da personalidade humana em momentos de alta pressão como esses? Por que provas escritas se o mundo profissional reivindicará outras formas de avaliação? Por que tantas provas individuais se o trabalho em equipe tem se mostrado cada vez mais eficiente na obtenção de soluções complexas? Por que valorizar respostas padronizadas se a criatividade recomenda justamente o distanciamento e a divergência com o comum? Por que usar a avaliação apenas para atribuir uma nota e classificar o aluno em aprovado ou reprovado? Por que não conceber avaliações atraentes e que possam gerar expectativas de prazer em vez de ansiedade? A finalidade do ensino em um cenário frustrante como esse se reduz à simples preparação para as provas e os exames. Sem dúvida uma realidade perturbadora! Embora tenhamos reforçado os aspectos considerados inapropriados e negativos do sistema vigente de avaliação, estamos cientes de que uma generalização indevida seria descabida. Devemos considerar todo esforço gasto por pesquisadores, professores e instituições públicas ou privadas, objetivando uma avaliação de qualidade e que estivesse inserida em um contexto inovador de ensino e aprendizagem. A imagem idealizada por esses educadores e que estaria do lado oposto da caricatura feita nos parágrafos anteriores é a imagem de um sistema avaliativo que ajuda o aluno a evoluir, a aprender, a romper barreiras cognitivas e adquirir qualidades essenciais à construção saudável de sua futura vida social e profissional. Nesse caso, em que a avaliação seria utilizada como meio para a aprendizagem significativa, o foco seria o preparo do estudante para a conquista de sua autonomia, ajudando-o a tomar ciência de seu papel como cidadão, bem como de seus deveres, direitos e compromissos com o coletivo.

Problemas da avaliação na escola tradicional

Testes padronizados não revelam, necessariamente, as diferenças entre ações pedagógicas tradicionais e inovadoras, tampouco refletem o cuidado e zelo pela qualidade do ensino. A impessoalidade, a especificidade e a previsibilidade das avaliações tradicionais fazem com que ações didáticas bem planejadas, estratégias diferenciadas e um maior comprometimento do professor, por vezes, passem despercebidos. Métodos modernos mostram-se, aos olhos da avaliação tradicional, equivalentes ao método conservador. Isso ocorre em razão da incapacidade da avaliação tradicional discernir respostas mecanizadas daquelas que nascem de um real entendimento e aprendizagem. Conforme argumentamos no tópico 3, um ensino de qualidade deveria estar atrelado a uma avaliação que sustenta tal ensino, que se mostre eficiente tanto em detectá-lo quanto em alimentá-lo.

A seguir listamos alguns pontos geralmente tidos como os principais problemas da avaliação tradicional:

- Linguagem

  Caso se pretenda detectar habilidades e conteúdos por meio de uma linguagem rebuscada e carregada em termos técnicos, deve-se, antes, trabalhar esse tipo de enunciado com o aluno. Ensinar Física pressupõe ensinar o aluno a interpretar enunciados típicos da Física. Como exemplo, compare as duas questões a seguir, que, em princípio, poderiam ser tidas como equivalentes por um leitor menos atento.

1) *Calcule a aceleração.*
   Dados:
   $m = 3\ kg$
   $F_r = 6\ N$

2) *Sabendo que a massa de um móvel tem valor de 3 unidades no Sistema Internacional e que a resultante das forças exercidas sobre ele tem intensidade 6 N, calcule a taxa temporal com que sua velocidade varia.*

Nitidamente a questão 2 demanda mais conhecimento do que a primeira. Para chegar à solução dessa questão, o aluno precisa saber e saber fazer:

a) qual a unidade de massa no SI (saber);
b) que a palavra móvel é o nome genérico de algo que pode se movimentar (saber);
c) que a taxa de variação da velocidade é justamente a aceleração (saber);
d) identificar que se trata de um problema da segunda lei de Newton (saber fazer);
e) que os símbolos de massa e aceleração são, respectivamente, *m* e *a* (saber);
f) utilizar a segunda lei de Newton para chegar à solução (saber fazer).

Em comparação, a primeira questão necessitaria apenas dos itens **d** e **f**, sendo, portanto, bem menos complexa.

Nesse ponto, nossa intenção ainda não é defender a presença do primeiro ou do segundo tipo de questão. O que não faz sentido, no entanto, é esperar que o aluno alcance a resposta almejada na questão 2 sem que tenha tido o preparo adequado para isso.

- Avaliar apenas as inteligências linguística e lógico-matemática

  Existe outro problema que pode ser inferido tomando como exemplo as mesmas duas questões. Caso o aluno apresente aptidão natural para as inteligências linguística e lógico-matemática, é possível que detecte o mecanismo de resolução da segunda questão, ainda que nunca tenha deparado com questões desse tipo e que o ensino ao qual foi submetido não o tenha preparado adequadamente. Isso revela o problema anunciado no início do tópico. Tal aluno passa a ser tido como o inteligente da turma, mas, na verdade, outros alunos não acertaram a questão por uma falha no ensino, a qual, nesse aluno em particular, foi compensada por uma maior capacidade em detectar sentidos implícitos e simbólicos. Para agravar a situação, o aluno que chega ao resultado correto não o faz necessariamente como consequência de uma compreensão profunda dos conceitos envolvidos. Seu acerto pode ser reflexo de sua maior capacidade em manipular símbolos e interpretar textos. Porém, não há como garantir uma aprendizagem significativa, acompanhada de sentido e significado. Caso o mesmo aluno fosse chamado a conceituar massa ou discorrer sobre o Sistema Internacional, ou mesmo sobre a segunda lei de Newton, é pos-

sível que revelasse falta de conhecimento sobre os conceitos. Naturalmente não estamos sugerindo a exclusão de questões desse tipo dos livros didáticos ou das avaliações escolares; não é o caso. Contudo, ela deve ser complementada com outras formas de avaliação que visam valorizar outras inteligências enquanto verificam a compreensão profunda dos conceitos físicos ensinados.

- Ainda não existe a cultura de avaliar outras capacidades intelectuais
  Não existem testes escritos que se prestem a averiguar características típicas de um bom líder, ou de um bom jogador de futebol, ou de um bom músico. Isso acontece simplesmente porque tais qualidades emergem na ação e não há meios de detectá-las, com confiança, pelo sistema tradicional de avaliação. Em outras palavras, os testes formais e escritos são especialmente favoráveis ao indivíduo que possui certa mistura de inteligência linguística e lógica, e que fica à vontade ao ser avaliado em um ambiente descontextualizado, em um tempo determinado e em condições impessoais, mas desfavorecem aquele que se manifesta melhor em projetos continuados ou trabalhos em equipe. Em síntese, a sociedade escolar, além de colocar as duas inteligências em um pedestal, não cria meios seguros de avaliar as outras inteligências. Essa "massificação" imposta pelo sistema avaliativo parece surgir da insistência em querer lidar com os alunos da mesma maneira e de aplicar o mesmo tipo de métrica a todos eles. Tal procedimento é considerado por pesquisadores da área de ensino e avaliação, injustificável em termos científicos e até ofensivo em termos éticos.
- O aluno sabe em que parte da matéria estará a resposta esperada
  Outro problema comum do processo avaliativo brasileiro é resultado da cultura de sequenciamento e de avaliação acumulativa, ou seja, avaliar sempre aquilo que foi ensinado na semana ou no mês anterior. Os alunos sabem de antemão em que "capítulo" está o problema colocado na avaliação e, assim, usam essa informação para decidir que conceitos e fórmulas serão relevantes para a solução. Um exemplo figurativo e esclarecedor sobre esse assunto é o seguinte: se uma pessoa é solicitada a listar rapidamente e "de cabeça" cinco coisas brancas quaisquer, talvez leve mais tempo do que levaria caso tivesse sido solicitada a listar cinco coisas brancas comumente encontradas dentro de uma geladeira. É importante notar que ela poderia, na primeira pergunta, ter escolhido coisas da geladeira, mas esse comando não havia sido passado. Na segunda tarefa, o comando restritivo, assim como ocorre com exercícios cujo tema está em andamento, pode ajudar muito para que se chegue à resposta correta, ainda que não haja uma compreensão real da razão da escolha de tais leis ou conceitos.
- Rigidez dos momentos de avaliação
  Dependendo da maturidade cognitiva, emocional e psicológica do estudante, pode ser particularmente fácil ou difícil o domínio de certos tipos de assunto. Essas diferenças de personalidade implicam diferenças também no tempo de aprendizagem de cada um. Não parece justo que o aluno se submeta a testes sem que esteja devidamente preparado para enfrentá-lo. O teste é que deveria esperar pelo preparo adequado do aluno. Quem está a serviço de quem? No entanto, estamos cientes do limite temporal imposto pelo próprio programa curricular do Ensino Médio. Mas julgamos que o engessamento curricular deveria ser intermediado por uma prática saturada por bom senso e flexibilidade.

O que deveria ser avaliado?

O papel da avaliação deveria ser ampliado para além do conceito tradicional da realização de provas. No lugar de ser imposta em momentos espaçados, poderia ser contínua e natural, parte constituinte do processo de ensino-aprendizagem e de diálogo entre professor e alunos. A concepção arraigada e difundida do teste que seleciona e que classifica deveria, aos poucos, dar lugar à ideia da avaliação que integra harmonicamente os diferentes. Naturalmente, mudanças assim deveriam ser executadas coletivamente, e não por iniciativas isoladas. O primeiro incentivo à mudança deveria partir dos dirigentes e políticos que zelam pela educação do país e, conforme discutimos no tópico 4, entendemos a implantação do Novo Enem como um enorme passo nesse sentido. A mudança para um ensino de qualidade deve estar respaldada por avaliações que verifiquem e ajudem a promover tal ensino, não significando que devemos abandonar por completo o sistema atual de avaliação, mas sim complementá-lo e aprimorá-lo. Um novo paradigma avaliativo deveria nascer de razões mais humanas e acolhedoras que não excluam, mas incluam, que não selecionem, mas integrem. Tendo razões mais abrangentes e humanas em mente, é possível caminhar para as especificidades que ajudam na concretização dessa nova intenção avaliativa. Agora apresentamos alguns pontos que podem servir de base para o leque de habilidades e saberes que poderiam ser avaliados pelo novo panorama avaliativo sugerido.

- Entendimento profundo e não superficial
  As avaliações devem revelar o entendimento em vez de meramente mostrar a capacidade de reproduzir fatos ou desempenhar habilidades isoladas. Deve testar a compreensão profunda, e não a superficial. Uma pesquisa em educação se tornou famosa pela resposta que os alunos deram à seguinte pergunta: há 26 carneiros e 10 cabras em um navio, quantos anos tem o capitão? Por incrível que possa parecer, a maioria dos alunos do grupo entrevistado forneceu como resposta 36 anos de idade. Essa resposta é produto direto dos problemas levantados sobre a avaliação tradicional, em que os alunos acreditam que devem manipular os dados da questão para chegar à resposta esperada, sem a necessidade de um entendimento real daquilo que está em jogo. O ato de elaborar respostas se mecanizou a tal ponto que, por vezes, exclui uma mínima reflexão acerca dos conceitos envolvidos e, em muitos casos, como nesse estudo, um aparente descaso em relação ao significado da solução encontrada. Talvez seja importante enfatizar que uma compreensão profunda não precisa necessariamente vir acompanhada de uma destreza afiada na linguagem da Matemática. A compreensão deve ser avaliada e desenvolvida gradualmente, ao longo do processo de ensino. Professores que entendem a avaliação como meio que leva à aprendizagem prestam muita atenção ao progresso individual de seus alunos e idealizam tarefas apropriadas. Apresentam aos estudantes dificuldades moduladas, desafiadoras o suficiente para manter o envolvimento, mas não tão difíceis a ponto de desencorajá-los.
- Transferência
  Já mencionamos em outros tópicos que uma aprendizagem significativa deve ser capaz de passar no teste da transferência, que tanto serve como meio para um ensino de qualidade quanto como forma de sondar se o ensino gerou aprendizagem. Tem pouco alcance significativo um ensino de porcentagem cujos exemplos sejam retirados apenas do contexto financeiro de juros, taxas e montantes. Não há problema algum em utilizar também

esse contexto, contanto que o ensino elucide o aluno a respeito da existência de outras aplicações práticas e abstratas para o mesmo conceito. Ainda nesse sentido, não parece eficiente passar por toda Mecânica fazendo com que o aluno acredite se tratar da Física de "bloquinhos" e planos. Tal atitude limita o alcance da aprendizagem e restringe o leque de habilidades que poderiam ser trabalhadas a partir desse tema. Uma transferência ainda maior, que será vista no tópico 8, diz respeito à capacidade de lançar mão dos métodos e conceitos de uma ciência ou disciplina escolar no domínio de atuação de outra. Mas a transferência não precisa ser trabalhada apenas a partir de exemplos imaginados ou praticados dentro da sala de aula. O passeio a um museu, a ida a um cinema ou teatro, a análise de uma música ou poesia, a visita técnica a uma usina, enfim, todas essas são ocasiões em que pode ser trabalhada e testada a transferência dos conceitos estudados.

- Sobrevivência
  Aprender implica, também, apreender. A sobrevivência já foi igualmente mencionada em outras passagens deste Manual e, assim como a transferência, tanto serve como meio para a aprendizagem quanto como objeto a ser avaliado. Ela ameniza o problema mencionado sobre o aluno saber em que parte da matéria serão ancoradas as perguntas da prova. A sistematização da cobrança do que foi aprendido no passado serve de inspiração para o aluno treinar o resgate e o fluxo dinâmico dos conceitos presentes em sua mente, faculdade mental comum àqueles que, em outros tópicos, denominamos especialista competente.
- Criatividade
  De acordo com Monica Martinez, doutora em Ciências da Comunicação e autora de estudos sobre o pensamento criativo, a criatividade não só pode como deveria ser desenvolvida na escola. Para ela, criatividade é a qualidade de quem possui inventividade, inteligência e capacidade para criar, inovar, ser original. Em sua visão, o nascimento de uma ideia é parte de um processo que depende de fatores como personalidade, conhecimento, habilidades pessoais, motivação e ambiente apropriado. Acredita ainda que ser criativo é uma característica que precisa ser alimentada, elaborada, mas decorre muito mais do esforço individual e do aprimoramento das próprias qualidades, mediante a aplicação de técnicas e dedicação, do que de um dom ou de um talento extraordinário. Talvez seja complexo demais atribuir notas para a criatividade de alguém. Todavia, o novo paradigma avaliativo sinalizado por pesquisas modernas em educação, avaliações subjetivas, sem atribuição de notas classificatórias, são bem-vindas. Desse modo, a criatividade, anteriormente vista apenas como função cognitiva a ser valorizada e desenvolvida, passa a pertencer também à lista de qualidades a ser avaliada. Existe, entretanto, uma função cognitiva presente nas mentes inventivas e que pode funcionar como algo de concreto para o professor desejoso de uma avaliação mais pragmática. Trata-se do pensamento divergente, ou seja, a capacidade de produzir uma variedade de respostas para uma mesma pergunta. Curiosamente, uma pesquisa comparou essa função ao longo dos anos em um grupo de crianças e, para surpresa (ou não) dos educadores, ela diminuiu com o passar do tempo para as crianças do grupo analisado. A hipótese aventada pelos autores da pesquisa é a de que o sistema tradicional de ensino, ao negar repetidamente respostas para perguntas simples das crianças durante os primeiros anos escolares, alegando se tratar de assuntos futuros, acaba podando essa natural característica infantil. Outra função cognitiva associada à criatividade e também passível de ser treinada e avaliada na escola é a fluência ideacional associativa, ou seja, a capacidade de produzir muitas relações pertinentes a uma mesma ideia ou conceito. Ambas as capacidades, quando amparadas por um ensino e uma avaliação que as valorizem e as promovam, poderão fazer surgir o pensamento criativo do aluno.
- Capacidades relacionadas às outras inteligências
  Alunos que não demonstram um bom desempenho em provas por vezes surpreendem colegas e professores pela capacidade e pela desenvoltura em liderar grupos, organizar eventos, atuar em uma peça, etc. A avaliação deveria reconhecer e prestigiar a existência das diferentes inteligências da mente humana. Contudo, a inércia do sistema avaliativo dificulta mudanças. Mesmo professores e educadores, que deveriam encabeçar o movimento de mudança do perfil avaliativo, por vezes replicam impensadamente o tipo de avaliação aos quais foram, eles mesmos, submetidos por toda a vida escolar e universitária. Como agravante, não existe ainda uma forma consolidada e disseminada para avaliar as outras dimensões da cognição. As pesquisas apontam como promessas para esse propósito cenários avaliativos totalmente repensados, uma vez que essas outras inteligências não possuem a natureza escrita intrínseca à inteligência linguística e à inteligência lógico-matemática. Essas outras inteligências manifestam-se na ação, e não na escrita. Assim, avaliar tais capacidades humanas requer a elaboração de circunstâncias propícias para que se manifestem, além de uma forma sistemática de observação e detecção de tais manifestações. Em outras palavras, foge completamente daquilo que os professores já se sentem preparados e estão habituados a fazer. Consequentemente, levar em conta as outras capacidades humanas durante as avaliações escolares vai demandar estudo, preparo, organização e ações coletivas por parte de professores e dirigentes.

Tipos de avaliação

Tentaremos fazer um breve resumo com o objetivo de familiarizar aqueles que ainda não tenham uma visão clara a respeito dos diferentes tipos de avaliação escolar. O resumo, evidentemente, não substitui um estudo mais aprofundado a respeito do tema. Atualmente a literatura sobre o assunto é vasta, e algumas indicações e sugestões de leituras que abrangem esse e outros tópicos sobre educação foram inseridas no tópico 5.

- Escrita *versus* verbal
  Não ser capaz de expressar-se hábil e corretamente na forma escrita não é sinal de ausência de conhecimento. Não são raras as ocasiões nas quais os alunos fornecem respostas verbais muito mais precisas e próximas dos conceitos aceitos cientificamente do que quando requisitados para redigir a resposta à mesma pergunta. Obviamente a abrangência da avaliação verbal não é a mesma da escrita. Pedir a um aluno que resolva uma equação verbalmente poderá trazer dificuldades relativas ao tipo de raciocínio e operações que tal resolução demanda, mas isso não elimina a avaliação verbal, apenas a posiciona quanto às suas possibilidades.
- Somativa *versus* processual
  Se o professor se espanta com as notas de seus alunos ao final do bimestre, talvez o problema esteja no espaçamento temporal entre suas avaliações. Esperar o final de uma sequência de aulas ou de um bimestre para avaliar os alunos pode acarretar a desagra-

dável surpresa de eles não atingirem a expectativa de aprendizagem esperada. Uma avaliação contínua ajuda a monitorar o progresso dos estudantes. Ela revela ao professor em que ponto do caminho que leva do raciocínio informal para o formal se encontra cada aluno; essa informação auxilia o professor no planejamento do próximo passo da instrução.

- Informativa *versus* formativa
  É comum encontrar na literatura sobre avaliação as designações "formativa" e "processual" como sinônimas. Entretanto, preferimos reservar a palavra *formativa* para referir-se ao tipo de avaliação que tem como principal objetivo promover a formação, ou seja, ser um momento de aprendizagem para o aluno. Evidentemente, uma avaliação ao mesmo tempo formativa e processual já estaria muito mais próxima da avaliação esperada por um ensino idealizado, uma vez que proporcionaria tanto a formação do aluno quanto o *feedback* constante para aluno e professor. Seja como for, tem pouco mérito na visão de pesquisadores em ensino uma avaliação informativa, que busca detectar apenas conhecimentos factuais, como datas, definições, exemplos isolados, entre outros tipos de informação. Foi-se o tempo no qual se valorizava alguém pelo tamanho da lista de informações memorizadas, como capitais, constantes físicas, datas, etc. O acesso à informação crua, atualmente, se dá de maneira tão dinâmica que avaliar a memorização de dados parece ser totalmente desprovido de relevância em um ensino moderno.
- Padronizada *versus* customizada
  Ainda que se possa argumentar a favor de avaliações padronizadas em âmbito nacional, conforme o exame do Enem ou provas de admissão em universidades, essa argumentação não encontra respaldo no ambiente de sala de aula. Alunos diferentes podem e devem ser avaliados diferentemente. Maturidades intelectuais diferentes precisam de estímulos avaliativos também diferentes. Se a avaliação representa um momento de aprendizagem e se dá de forma contínua, então nada mais natural que tais avaliações sejam customizadas às necessidades de aprendizagem de cada um dos alunos. Como dito no item sobre avaliação processual, as diferenças detectadas por meio desse modo avaliativo devem ser levadas em conta quando da elaboração do próximo passo da instrução, mas esse próximo passo inclui novas avaliações. Embora a redação de questões distintas regularmente para um grupo grande de alunos represente uma tarefa praticamente utópica, a flexibilidade na escolha das formas de avaliação pode funcionar para que se crie um instrumento avaliativo adequado às especificidades de cada aluno. Um instrumento assim customizado pode ser fruto da composição planejada de avaliações que requerem menor tempo de aplicação, como avaliações verbais, subjetivas e coletivas.
- Impessoal *versus* pessoal
  Não faltam relatos sobre alunos apáticos e indiferentes no ambiente escolar, mas que apresentam uma autonomia surpreendente quando motivado por desejos e interesses pessoais. A manifestação de virtudes diferenciadas poderia ser provocada, em ambiente escolar, por avaliações atraentes que suscitem interesse pessoal do aluno. Exemplos de avaliações desse tipo são textos produzidos individualmente e depois compartilhados com colegas ou no mural da escola, ou ainda a apresentação de um experimento cuja elaboração foi viabilizada apenas por intermédio da cooperação e união de qualidades únicas de cada aluno ou uma apresentação qualquer na qual o aluno poderá revelar habilidades e capacidades até então omitidas e desconhecidas por professores e colegas. Trabalhos como esses podem servir de pretexto para que você coloque em ação seu plano de ensino, inserindo intencionalmente tarefas que ajudem o aluno a desenvolver habilidades que em outras ocasiões não se mostraria disposto a desenvolver, ou a se apropriar de conteúdos que, no contexto tradicional, não se mostraria disposto a aprender. Esse interesse e essa motivação adicionais podem ser utilizados para que o professor não somente avalie outras inteligências, mas também aproveite o momento para mostrar ao aluno o prazer e o benefício de um maior comprometimento pessoal com a aprendizagem.

Sugestões de uso do livro como recurso avaliativo

Somos favoráveis ao uso dos vários trechos do livro como fonte diversa para avaliações. Estamos cientes da escassez de tempo disponibilizado para aulas de Física na maioria das escolas brasileiras. Assim sendo, a avaliação pode ser explorada, também, como forma de compensar esse descompasso entre quantidade de conteúdos e número de aulas. Acreditamos, portanto, que um planejamento bem-feito e executado com rigor poderá incorporar a cobrança de um largo espectro de atividades avaliativas, como relatório de pesquisa, interpretação de textos do livro, resolução de exercícios do livro, realização de resenhas explicativas de experimentos propostos, debate em grupo, entre outras formas que o professor estabelecerá tomando como critério principal as características de seu alunado e sua intenção didática. Ao longo do desenvolvimento do conteúdo, em cada capítulo da Coleção, o professor encontrará diversas sugestões para compor e complementar o processo de avaliação.

Faremos algumas sugestões mais específicas de como vincular seções do livro com diferentes tipos de avaliação.

Seções

Compreendendo o mundo e Física explica

São duas seções destinadas justamente à aplicabilidade da Física em tecnologias diferentes, permitindo que a transferência seja testada de forma natural. Os diferentes contextos necessários à transferência já são dados e descritos. Cabe ao professor utilizá-los para o fim de desenvolver e testar transferência. Além disso, de forma geral, a compreensão minuciosa de tecnologias e fenômenos naturais demanda um entendimento profundo das leis e dos conceitos físicos que regem tal fenômeno ou tecnologia e, portanto, serve como oportunidade para avaliar o grau de entendimento do aluno, se superficial ou profundo, a respeito das leis trabalhadas no capítulo.

Em construção e Física tem história

As duas seções poderão ser utilizadas como ponto de partida para o resgate de conceitos físicos abordados anteriormente e que estejam associados a pesquisas e personagens históricos relatados na seção. Dessa forma, as seções podem ser vistas como recurso por meio do qual a sobrevivência dos conteúdos é avaliada e desenvolvida. Elas podem ainda ser utilizadas como maneira de avaliar até que ponto o aluno é capaz de articular as ideias das Ciências Humanas para compreender o avanço da ciência, mais um exemplo de transferência sendo avaliado. Por fim, serve para avaliar a visão que o aluno possui sobre as "duas" histórias: a da civilização e a da ciência; se eles percebem essas histórias como separadas, sem relação, ou como uma única história "contada" por perspectivas dis-

tintas. Trata-se, assim, de uma forma de avaliar o grau do entendimento dos conceitos físicos, se superficial ou profundo. Quando o entendimento do conceito físico em questão é profundo o suficiente, o aluno percebe seu nascimento e até mesmo sua funcionalidade como consequência direta da própria história da humanidade.

Trabalho em equipe e Experimento

Este é um momento promissor para a avaliação e a promoção de capacidades associadas às inteligências interpessoal e intrapessoal. Obviamente o produto final da pesquisa deve ser considerado elemento a ser avaliado, mas a interação entre os membros do grupo durante o processo também serve como avaliação. De que forma o aluno expôs suas ideias? Como reagiu à não aceitação de suas ideias? Procurou compor as diferenças para que se conseguisse um trabalho mais completo ou supervalorizou as próprias opiniões? Em que medida foi capaz de liderar ou aceitar a liderança de outro? Seus colegas de grupo acharam sua participação harmônica ou inoportuna? Em que grau se comprometeu com a realização e a qualidade do trabalho proposto?

Retomando

Seção por meio da qual se pode avaliar e desenvolver criatividade, algumas de suas questões não apresentam uma resposta fechada, admitindo maior debate para estimular o uso e o treino do pensamento divergente. Recomendamos ao professor que assegure ao aluno que a criatividade, assim como sua inteligência, é passível de se desenvolver, bastando que haja um empenho regular e orientado nesse sentido.

Palavras finais

Em que pesem as avaliações injustas e inadequadas que certamente todo cidadão há de deparar em sua jornada na vida, que ao menos na escola essas avaliações sejam repensadas para promover o fortalecimento da personalidade da criança, inocente por natureza e muitas vezes despreparada para as pressões que encontra já nessa idade. Que a realidade da cognição multifacetada por inteligências diversas seja considerada no processo avaliativo, de forma a torná-lo mais justo e menos estigmatizador. Segundo Douglas Fox, em artigo publicado na *Scientific American Brasil*, as pesquisas em neurociência estão chegando à conclusão de que as leis da Termodinâmica podem impedir a continuidade da evolução do cérebro humano. O modo pelo qual tem evoluído ao longo dos milênios ocorre pela modificação física dos neurônios, de forma similar à miniaturização dos transistores. Mas tanto um quanto o outro parecem estar chegando aos limites do avanço e do aumento de eficiência. No entanto, Fox argumenta que a mente humana poderá encontrar vias melhores de se expandir sem a necessidade da evolução biológica adicional. Cita o exemplo das abelhas, que, agindo em sintonia, formam uma entidade coletiva mais inteligente que cada uma delas isoladamente. Tomando-se essa hipótese como cabível, é possível pensar que os próximos passos do aprimoramento da cognição humana se darão mais pela ação de capacidades interpessoais do que linguísticas ou lógicas. Sob esse ponto de vista, o caminho de um ensino que almeje a evolução harmoniosa da civilização deverá ser o da implementação de atividades avaliativas que respeitem as diferenças individuais dos jovens ao mesmo tempo que valorizam a conquista e construção coletiva da aprendizagem.

8 Estratégias didáticas e o conteúdo digital na prática pedagógica

O que o professor deve saber e saber fazer para estruturar sequências didáticas e planos de aula visando a um ensino de qualidade?

As estratégias didáticas representam parte do conhecimento que permite ao professor responder a essa pergunta. Elas podem ser entendidas como o conjunto de ações, práticas, métodos e tipos de atividade escolhidos com o respaldo de teorias e resultados de pesquisas em ensino. Servem para direcionar o processo de ensino-aprendizagem. Antes, porém, que iniciemos a explanação sobre tipos de estratégia didática, convém que alertemos para que não haja uma interpretação precipitada que costuma surgir após esse tipo de leitura. É muito comum que o professor, ao deparar com os fundamentos de uma estratégia didática pela primeira vez, se encante com suas possibilidades e compre a ideia como a salvadora para o ensino e para sua prática de sala de aula. Mas com esse encantamento surgem os modismos didáticos que se vendem como a panaceia para o ensino. O encantamento pode nascer, justamente, do entendimento parcial da teoria que sustenta tal estratégia. Estratégias didáticas adequadas ao ensino de Física não necessariamente devem se manter adequadas para o ensino de Matemática. Mesmo dentro da Física, as diferenças estruturais de conceitos e procedimentos demandam práticas didáticas também diferenciadas. Assim, reforçamos que não acreditamos em uma única estratégia ou em alguma teoria educacional que seja universalmente aplicável, que funcione em todas as circunstâncias. Somos adeptos, conforme mencionamos em tópicos anteriores, do pluralismo metodológico, também defendido e explicitado por Laburú, Arruda e Nardi em periódico de prestígio em educação, sob o título de *Pluralismo metodológico no ensino de Ciências*. A ideia simples que fundamenta o pluralismo é de que a pertinência de teorias e estratégias está atrelada à situação e à realidade do alunado em questão, e, desse modo, seu uso deve ser ponderado pela observação de inúmeros fatores que determinam sua validade e sucesso. Em síntese, perguntar qual técnica de ensino é melhor se torna o mesmo que perguntar qual ferramenta é melhor: um martelo, uma chave de fenda, uma faca ou um alicate; trata-se, nitidamente, de um questionamento esvaziado de sentido.

Finalmente, convém ressaltar que a apresentação de estratégias neste tópico tem o propósito único de ser um primeiro contato para o professor que ainda não o tenha.

Precisamos chamar a atenção para o fato de que vamos discorrer não apenas a respeito de estratégias para o ensino, mas também de fundamentos teóricos que as subsidiam. Por vezes, não explicitaremos a estratégia em si, mas somente aspectos teóricos que podem ser incorporados à consciência e à reflexão docente, influenciando a prática e a ação pedagógica.

Vale comentar que algumas das estratégias didáticas, para que vinguem, precisam da criação de estruturas de apoio material, da participação dos pais e, por vezes, da comunidade local. Dependem de condições que vão além da boa vontade e do conhecimento dos

professores. Sendo assim, algumas das estratégias que serão abordadas neste tópico devem ser compreendidas sob uma perspectiva coletiva para que possam de fato transformar a escola e se mostrar eficientes para amenizar problemas estruturais, como desinteresse, evasão e repetência.

Estarmos cientes de que o fenômeno didático ocorre sempre pela interação entre os três participantes do processo: professor, aluno e saber. Contudo, procuramos organizar as estratégias que serão expostas a seguir pelo grau de proximidade com cada um desses agentes. Com isso, iniciamos pelas estratégias mais centradas nos alunos, assim como as premissas teóricas correspondentes. Tal proximidade, por ser subjetiva, serve apenas como forma de organizar o tópico, sem que haja um sentido teórico mais profundo que a sustente.

Estratégias centradas no aluno

Concepções espontâneas e representações mentais

Se existe um resultado consolidado pelas pesquisas em ensino-aprendizagem e aceito como fato incontestável por grande parte dos educadores é a visão de que o aluno chega à sala de aula, mesmo nos primeiros anos escolares, com representações mentais bem estabelecidas sobre o funcionamento do mundo. Ainda que por vezes rudimentares, no sentido em que se distanciam bastante do saber formalizado pela ciência, as representações, estejam na forma de concepções espontâneas, conhecimentos prévios ou esquemas mentais, possuem um sentido de utilidade muito grande para a criança. Essas representações acerca do mundo foram construídas por observação, por tentativa e erro, pelo convívio familiar, social e cultural e permitem à criança interagir com a realidade e dela extrair aquilo que precisam para viver em sociedade. Existem diversas estratégias visando à aprendizagem que obedecem ao fundamento de que aprender é modificar as representações existentes na mente de cada um, aproximando-as cada vez mais de um conhecimento mais formal e, assim, permitir ao indivíduo uma interação e compreensão mais refinada da realidade que o cerca.

Outra premissa que embasa ações pedagógicas centradas no aluno diz respeito ao interesse individual. Caso o aluno não enxergue razão para modificar suas estruturas cognitivas, é possível que se acomode e prefira mantê-las. Afinal, tais estruturas vêm, até então, fornecendo explicações razoáveis e uma forma de negociar com os elementos da realidade com a qual ele já está habituado. Se não houver um interesse real em modificá-las e aprimorá-las, provavelmente não vai predispor o investimento de tempo e energia que a mudança demandaria.

Conflitos cognitivos

Com base nas premissas citadas, uma estratégia estudada por pesquisadores em ensino e praticada por professores é estabelecer conflitos cognitivos durante o processo de ensino-aprendizagem. Tais conflitos seriam induzidos por meio de um raciocínio expositivo, uma demonstração experimental ou qualquer outra maneira que tenha sido previamente planejada e pensada pelo professor. Os conflitos cognitivos teriam o papel de desestabilizar o equilíbrio da estrutura cognitiva vigente na mente do aluno de tal forma que se sentisse impelido em aprender e assimilar um novo saber capaz de reestabelecer o equilíbrio do estágio anterior. Algumas pesquisas, no entanto, indicam que o conflito, caso não seja realizado com cautela e no momento propício, poderá prestar um desserviço ao ensino, fazendo com que o aluno se feche definitivamente para aquele conhecimento, como que defendendo a harmonia cognitiva já conquistada.

Trabalho em equipe

Trabalho em equipe no ensino faz a vez de uma estratégia também fundamentada nas representações prévias do aluno e na necessidade de cultivar interesse. Como primeira justificativa, podemos dizer que o trabalho com os colegas é naturalmente mais atraente para o jovem, uma vez que a expectativa da socialização costuma ser mais sedutora na idade escolar. Um trabalho planejado com rigor e seriedade pelo professor ou pelo grupo de profissionais da escola poderá promover situações em que o aluno deverá externar suas opiniões e negociar significados a respeito de objetos e conceitos. Em ocasiões como essas, suas representações prévias afloram e tornam-se perceptivas para o educador, que, em posse dessas informações, deverá conduzir o trabalho de forma que propicie a reformulação de proposições incorretas acerca dos fenômenos e dos conceitos em pauta. Existem várias modalidades de trabalho em equipe, que se distinguem por seus idealizadores assim como pela maneira com que buscam prender o interesse do aluno. Entre trabalhos em equipe mais duradouros, com expectativas de aprendizagem mais abrangentes e que geralmente são adotados como componente curricular oficial da escola como um todo, destacam-se os *centros de interesse*, *projetos de trabalho* e *temas geradores*. Além das premissas que sustentam o processo pedagógico protagonizado pelo aluno, ou seja, a aprendizagem entendida como fruto da evolução das representações próprias e o interesse como necessidade para aprendizagem, essas três estratégias ainda possuem em comum:

- valorização da aprendizagem por descoberta, sempre acompanhada da orientação de um educador preparado;
- as intervenções do educador, que têm como principal objetivo problematizar, tomar distância e fornecer meios para que todos os alunos se envolvam no debate;
- o protagonismo do aluno, que deverá encaminhá-lo à autonomia; portanto, um dos objetivos com trabalho em grupo é que o aluno aprenda a aprender;
- o objeto ou tema do trabalho associado à realidade do grupo, de tal sorte que promova relações entre situações significativas em nível individual e coletivo;
- o diálogo mediado pelo professor como essência do processo.

Vale dizer ainda que a discussão de significados entre colegas de classe, durante trabalhos em grupo, possui a vantagem extra de diminuir a assimetria de conhecimentos entre aquele que ensina e aquele que aprende. Em termos psicológicos, o conhecimento mais profundo e complexo do professor pode ser encarado pelo aluno, ainda que em nível inconsciente, como uma ameaça ou sinônimo de maior poder, inibindo a abertura necessária à mudança e aceitação do novo. Uma vez mais aproveitamos para ressaltar a relevância do trabalho em grupo desde a infância, preparando as habilidades que deverão ser mobilizadas na fase adulta. Grandes empresários e empreendedores insistem em observar a importância de se saber trabalhar em equipe, principalmente diante dos problemas modernos de complexidade nunca antes vista. Inovações e soluções para problemas como a fome, a poluição e a pobreza muito provavelmente partirão de equipes colaborativas e criativas.

Estratégias centradas na relação aluno-saber

A seguir, discorreremos um pouco sobre teorias e estratégias focadas na relação aluno-saber. São teorias que relacionam a forma e organização do conhecimento com o respectivo impacto na aprendizagem.

Campos conceituais e situações-problema

Gérard Vergnaud, psicólogo francês, cujo trabalho de doutoramento foi orientado por Jean Piaget, elaborou uma teoria chamada **teoria dos campos conceituais**, cujas premissas são amplamente discutidas por educadores e pesquisadores em ensino. Vergnaud defende que o conhecimento está organizado em campos conceituais, cujo domínio por parte do sujeito ocorre ao longo do tempo, por experiência, maturidade e aprendizagem. Campo conceitual seria o conjunto de situações, conceitos, relações, conteúdos e operações de pensamento relacionadas a um domínio teórico do conhecimento. Os elementos do conjunto se entrelaçariam, pouco a pouco, durante a aprendizagem. De acordo com sua teoria, um conceito não se forma dentro de apenas uma situação, do mesmo modo que uma situação não se analisa a partir de um só conceito. Essa teoria parte do pressuposto de que a assimilação de todas as propriedades de um conceito pode levar anos para ocorrer e, no meio do caminho, é natural a presença de mal-entendidos e analogias malfeitas. Sob esse ponto de vista, o aperfeiçoamento cognitivo e as respostas do sujeito evoluem à medida que encontram uma combinação de tarefas dentro de situações que serão dominadas paulatinamente. São as situações que conferem sentido a um conceito, portanto um conceito torna-se significativo por meio de uma variedade de situações. Uma estratégia didática decorrente dessas premissas teóricas é conhecida como situação-problema, implantada pelo oferecimento de situações atraentes o suficiente para que o aluno se predisponha a enfrentá-la e cujo enfrentamento e solução se dará apenas pela apropriação de novos conhecimentos. Aquele que cria a situação-problema deve conhecer os conhecimentos prévios de seus alunos e identificar o tipo de situação mais apropriada para tal perfil cognitivo. A interação aluno *versus* situação-problema o leva ao reconhecimento da ineficiência de seus esquemas e ao trabalho no sentido de reestruturá-los, ou seja, o enfrentamento tem como consequência uma aprendizagem significativa.

Obstáculos didáticos

Gaston Bachelard, citado no tópico 3, concebeu uma teoria epistemológica para a evolução da ciência e sugeriu sua utilização também em âmbito educacional. Introduziu a ideia de obstáculo epistemológico que, em educação, tem seu análogo conhecido como obstáculo didático, que é aquilo tomado como certo e indiscutível e que, até certo ponto do desenvolvimento do sujeito, o ajuda a progredir e a aprender, porém, inevitavelmente chegará o momento em que a nova aprendizagem se dará somente pelo abandono dele, que, até então, parecia infalível. Não devemos confundir obstáculos didáticos com concepções ou representações espontâneas, pois os obstáculos são muito mais difíceis de serem detectados, uma vez que, até certa altura do processo de aprendizagem, ele é de fato algo correto e utilizado para resolver problemas. Assim, modelos aproximados do real, muito comuns em Física, assim como analogias que ajudam a ilustrar, são exemplos de raciocínios válidos, mas que poderão representar futuros entraves para a aprendizagem, ainda que, durante um tempo, sejam essenciais para que ela ocorra. Um obstáculo muito citado no ensino de Matemática é a ideia de conceber a multiplicação como um caso particular da adição. É inegável que a operação de multiplicar três vezes o número 5 pode ser entendida como a adição consecutiva de três números 5. No entanto, isso que é verdade e funciona adequadamente para os números inteiros pode representar um obstáculo didático para a aprendizagem quando o aluno depara com a multiplicação de dois números decimais quaisquer, para a qual deixa de valer esse raciocínio. A estratégia didática que nasce da teoria de obstáculos é do ensino promovido por meio da superação deles. Alguns pesquisadores, como o francês Jean-Pierre Astolfi (1943-2009), sugerem até mesmo uma reforma curricular no programa escolar baseada na teoria de obstáculos didáticos.

Teoria antropológica do didático

Yves Chevallard, pensador francês citado no tópico 2, trouxe para o ensino duas teorias que vêm sendo muito estudadas por educadores. Uma delas é a teoria da transposição didática, que será discutida mais adiante. A teoria da transposição didática foi complementada anos depois pelo próprio Chevallard, que passou a chamá-la de teoria antropológica do didático. Tentando colocar em termos simples, trata-se de uma teoria que argumenta que, por trás de toda atividade humana regular, existe um corpo organizado de saberes, tácitos ou explícitos, mas que podem ser separados em quatro grupos que diferem por sua função: **tarefa** é aquilo que o ser humano precisa realizar, executar; **técnica** é a maneira pela qual se executa essa tarefa; **tecnologia** é o conjunto de proposições que justificam, explicam e estabelecem o grau de validade de uma técnica, enquanto **teoria** seria a explicação da própria tecnologia. Essa classificação pode ser de grande valia para o planejamento de aulas e atividades didáticas. Como exemplo, o professor pode planejar uma atividade experimental conduzida por um conjunto de tarefas a ela associadas, sendo que sua intenção didática é que o aluno se aproprie das técnicas necessárias à realização de tais tarefas, bem como das tecnologias e teorias subjacentes. Além disso, a atenção para a presença desses quatro elementos pode ajudar a detectar aquilo que falta para um entendimento mais completo de um assunto. Constitui ainda uma maneira de organizar e agrupar os saberes que estão em processo de aprendizagem, o que facilita sua recuperação e utilização mais fluente em contextos diversificados.

Técnicas de metacognição

O ato de refletir sobre aquilo que está sendo aprendido, buscando a autoconscientização do progresso de aprendizagem, do alcance do que já se aprendeu e daquilo que ainda falta aprender, enfim, é a monitoração recorrente da própria aprendizagem. Trata-se de um conceito utilizado como estratégia didática, a metacognição. Essa monitoração teria o papel de auxiliar a organização do conhecimento novo e sua associação com o antigo, o que otimizaria o processo de aprendizagem ao mesmo tempo que favoreceria o desenvolvimento da autonomia, em particular, do autodidatismo. No ensino de Física para o Ensino Médio, algumas perguntas podem contribuir para que o aluno monitore a própria aprendizagem. Durante o período de aprendizagem de um tópico, o aluno poderia manter em mente um conjunto de perguntas que, de certa forma, expressam o nível de compreensão já alcançado sobre o tema em estudo. Perguntas como: Qual o vocabulário

específico do assunto? Quais as grandezas envolvidas? Qual a matemática envolvida? Quais os exemplos e contraexemplos comuns? Quais as condições de validade das leis e teorias? Quais os fenômenos naturais associados ao assunto? Os conceitos e leis podem explicar alguma tecnologia? Qual o contexto histórico em que foi concebido? Quais operações eu devo ser capaz de realizar? De que forma os novos saberes se relacionam aos conhecimentos que eu já possuía?

Estratégias centradas no professor

Teoria da transposição didática

A primeira teoria trazida para o campo da educação por Chevallard foi a teoria da transposição didática. De acordo com os preceitos da teoria, a necessidade de se ensinar um conhecimento conduz à necessidade de modificá-lo para que se transforme em objeto de ensino. Antes, um conhecimento utilizável, agora um conhecimento utilizável e ensinável. Ao ingressar na escola, o saber sábio, aquele obtido no meio acadêmico, converte-se em conteúdo curricular. Para tanto, são feitas seleções, recortes, fragmentações, simplificações, linearizações, descontextualização, tudo para que os saberes ganhem uma roupagem de conteúdo escolar. É pouco provável que algum professor de Física do Ensino Médio utilize *Principia* de Newton em sala de aula, mas, ainda assim, não estaria no primeiro nível do conhecimento acadêmico, pois Newton certamente procurou conceber modificações em sua linguagem de modo a tornar a obra inteligível para aquele que a visitasse pela primeira vez. No entanto, os livros didáticos para o Ensino Médio "didatizam" ainda mais os saberes divulgados nas primeiras publicações do saber acadêmico. O professor, por seu turno, se apropria dos saberes expressos no livro didático e novamente aplica transformações que lhe adéquam à realidade de seu alunado. O processo poderá transformar o conhecimento a tal ponto que chegue a causar distorções ou inadequações daquilo que está sendo ensinado. Para que a contextualização histórica se recupere e que o conhecimento seja aprendido pelo aluno de uma forma mais próxima de sua origem, o conceito de vigilância epistemológica deverá permear o trabalho do professor. A vigilância epistemológica, conceito que faz parte da engrenagem da transposição didática, permite ao professor garantir a "sobrevivência dos saberes" no contexto da sala de aula. Trata-se de uma atitude individual que permite ao professor refazer o percurso do saber ensinado na sala de aula até o saber de referência gerado na academia, e verificar, de forma regular e sistemática, a pertinência, relevância e validade dos objetivos e conteúdos que se propõe a ensinar.

Tempo *versus* profundidade

Outra recomendação para a prática docente e que tem origem nos estudos sobre construção de competências diz respeito ao tempo investido em um assunto. Por vezes, a instrução é interrompida antes que o estudante desenvolva fluência naquele tópico. A tentativa de abranger muitos conteúdos rapidamente pode retardar a aprendizagem, pois os alunos precisam de tempo para estabelecer conexões com seus conhecimentos prévios e desenvolver habilidades. Um procedimento que se revelou como adequado em melhorar resultados de aprendizagem de alunos do Ensino Médio é aquele em que o professor inicia um assunto pedindo a seus alunos que façam uma leitura prévia a respeito do que será visto. Após a leitura, o professor direciona um debate elencando convergências e divergências de opiniões para então sintetizar os primeiros resultados de uma forma expositiva. O primeiro passo deve ser seguido da disponibilização de tempo para que o aluno pratique habilidades a partir do novo conhecimento e, assim, alcance uma formalização mais requintada dos conceitos envolvidos. Outro procedimento compatível com a necessidade do aprofundamento do tema, e que parece até facilitar a transferência dos conteúdos aprendidos de um contexto para outro, é a execução de um plano de ensino que incorpore uma quantidade razoável de exemplos variados, concretos e abstratos, além de contraexemplos e casos contrastantes. A variedade de exemplos do que "é" e daquilo que "não é" ajuda o aluno a delinear os atributos relevantes e irrelevantes de determinado conceito, o que permite a caracterização das várias facetas e das condições de validade de uma lei ou equação da Física.

Ações e práticas didáticas abordadas em outros tópicos

A seguir lembraremos algumas ações já vistas em outros tópicos e que podem ser entendidas como conhecimento e ações pedagógicas que contribuem para a formação de uma atmosfera favorável à aprendizagem:

- reforçar ao estudante a característica dinâmico-evolutiva da inteligência;
- usar avaliações como estratégia de ensino que levem em consideração inteligências e habilidades múltiplas;
- atribuir nexo a tudo que for ensinado, observando que nexo não é necessariamente obtido por utilidade, mas sim por conexões que promovam sentido e significado;
- estabelecer o processo dialógico durante as aulas, observando que o processo dialógico pressupõe a busca pelo entendimento das razões, opiniões, diferenças e interesses mútuos;
- respeito às diferenças culturais, religiosas, intelectuais, observando que respeitar pressupõe levar em conta as características do outro durante o planejamento e execução das ações pedagógicas;
- usar atividades experimentais tanto para verificar leis e demonstrar fenômenos como também para a investigação de fenômenos naturais;
- ensinar a Física como uma ferramenta para a compreensão e ação sobre o mundo, bem como para a satisfação em se entender e contemplar a natureza.

Relações entre as teorias e estratégias didáticas com a Coleção

O leque de conhecimentos, ações pedagógicas, práticas diferenciadas e estratégias didáticas relacionadas neste tópico pode causar a sensação de angústia ou ansiedade no professor, sensações típicas daquele que se conscientiza das inúmeras possibilidades de escolha. Por esse motivo é bom que digamos que é mais importante e pode trazer mais benefícios ao ensino o uso consciente e refletido de uma dessas estratégias do que a tentativa de utilizar impensadamente todas elas. Naturalmente, conforme mencionamos, estratégias e ações diferentes podem ter aplicações também distintas, porém, apenas um estudo contínuo somado à vivência da profissão possibilitará um uso apropriado e

sistemático dos conhecimentos pedagógicos. As figuras, textos, exercícios e atividades distribuídos no decorrer dos volumes da coleção servem como material de apoio durante a prática pedagógica. Não faz sentido, no entanto, vincular as diferentes seções e trechos do livro a alguma estratégia em particular. Cabe ao professor a tarefa de associar harmônica e conscientemente o pluralismo de atividades e seções do livro às suas ações e estratégias, levando em conta sua intenção didática e expectativas de aprendizagem e tomando por base as características cognitivas de seu alunado. Lembrando que a associação entre estratégia didática com trecho do livro não é de forma alguma tarefa simples, uma vez que depende de inúmeros fatores, como a complexidade do assunto abordado, a habilidade em foco, a natureza do conteúdo, conceitual, procedimental ou histórico, além da qualificação e destreza do próprio professor ao colocar em ação a estratégia escolhida.

Recursos digitais na prática pedagógica

Apesar de não haver um rigor muito sério a respeito do uso desses termos, convém fazer uma separação dos três tipos existentes de recursos digitais, essa que poderá contribuir para o esclarecimento de algo que pode ser novo para muitos: a diferença entre conteúdo digital, ferramenta digital e tecnologia digital. Conteúdo digital é o correspondente ao conteúdo escolar, mas que pode ser disponibilizado na rede, como textos, hipertextos, figuras, gráficos, etc. Ferramenta digital é o meio pelo qual o conteúdo digital está disponibilizado na rede, como, por exemplo, filmes, áudios, jogos, animações, simulações, hipertextos, *sites*, redes sociais, fóruns, *blogs*, etc. Finalmente, tecnologia digital é o instrumento que permite a conexão com essas ferramentas e respectivo acesso ao conteúdo digital, como computadores, *tablets*, telefones, lousas digitais, etc.

A utilização de todos os recursos digitais no ensino é cada vez mais frequente e facilita a comunicação entre os agentes do processo didático, além de ampliar as possibilidades pedagógicas. Podem permitir ou não a interação com o usuário. Animação, por exemplo, é uma representação dinâmica de um processo qualquer, como um fenômeno natural ou outro evento, mas que não admite a interação com o usuário. A animação funciona como um filme feito em linguagem computacional. Já as simulações usam linguagens que admitem a interatividade com o usuário, que pode alterar parâmetros e então modificar a dinâmica em curso. Videoaulas não interativas, dirigidas tanto a alunos do Ensino Básico quanto à formação docente, também ajudam a compor o conteúdo digital voltado ao ensino que pode ser encontrado na rede. Grandes universidades, nacionais e internacionais, disponibilizam gratuitamente cursos inteiros pela internet. Alguns deles são oficiais e atribuem titulação de graduação para o aluno, os conhecidos cursos de EAD (Ensino a Distância). Universidades públicas e outras instituições públicas e privadas ainda se valem dos ambientes virtuais de aprendizagem (AVA) para divulgar calendários, disponibilizar recursos didáticos digitais, além de organizar debates e discussões via fóruns síncronos ou assíncronos para seus alunos. Além disso, professores e alunos contam com um acervo enorme de demonstrações experimentais gravadas em vídeo e disponibilizadas de forma gratuita pelos canais da rede, além de grandes enciclopédias virtuais, dicionários *on-line*, entre tantos outros recursos didáticos digitais.

Pelas linhas anteriores podemos concluir que, por se tratar de ferramentas e meios para o ensino, as vantagens e prejuízos dos recursos digitais são causados, em última análise, pelo uso apropriado ou não que se faz deles. Com isso queremos dizer que devemos evitar a noção ilusória de que a simples presença do recurso digital garantiria melhores resultados de aprendizagem. Em contrapartida, o seu uso planejado e apropriado tem se mostrado eficiente em melhorar o ensino em vários cenários educacionais.

Se por um lado os recursos digitais por si só não asseguram a aprendizagem efetiva, eles certamente podem ampliar as possibilidades didáticas para o ensino de Física. Isso ocorre em razão de algumas de suas características básicas, tais como: o poder de visualização dinâmica de modelos científicos e fenômenos naturais, a interatividade usuário-tecnologia e a comunicação síncrona ou não síncrona entre usuários distantes.

Visualização dinâmica de modelos e a interatividade usuário-tecnologia

Quais eram as alternativas para representar, por exemplo, a superposição entre duas ondas gerando um padrão de interferência em um anteparo? Desenhar esse fenômeno no velho quadro-negro, além de ser tarefa quase impraticável para um não artista, limitava muito o entendimento subsequente à alteração de parâmetros como frequência, comprimento de onda, amplitude, largura da fenda, meio de propagação e natureza da onda. Animações e simulações, por intermédio das características de visualização dinâmica de modelos científicos e da interatividade citados, possibilita um entendimento que antes nem mesmo alguns professores eram capazes de alcançar. Antes disso, a saída que se mostrava mais eficiente e que ainda hoje é bastante utilizada para se entender a superposição de ondas é representada pela atividade experimental da cuba de onda, na qual dois estiletes vibratórios são usados para gerar ondas na superfície da água. Ainda assim, as variáveis que podem ser agregadas às programações computacionais por detrás das simulações, além de admitirem alterações e interações de forma mais dinâmica que a atividade experimental, abrangem um número muito maior de possibilidades. Além disso, a diversificação de parâmetros pode ser viabilizada em um tempo didático, por vezes, inferior àquele gasto com o quadro-negro ou com a atividade experimental. Atualmente, a quantidade de *sites* que disponibilizam gratuitamente animações e simulações de qualidade chega a assustar mesmo os mais otimistas e simpatizantes do uso de recursos digitais para o ensino de Física.

Outro argumento a favor dessa característica da tecnologia digital é que a substituição de imagens cristalizadas por simulações dinâmicas e interativas serve como recurso para a visualização de processos e objetos físicos abstratos, como campos elétricos, emissão e recepção de ondas eletromagnéticas, entre outros. Porém, justamente nesse ponto, os recursos digitais para o ensino de Física costumam sofrer algumas críticas, críticas relativas à sua adequação didática para o ensino do abstrato. Diferentemente de uma onda na superfície de um líquido, que representa um ente concreto, campos, emissão e propagação de ondas eletromagnéticas, por sua vez, são conceitos e objetos de natureza abstrata. Quando representados por animações e simulações, precisam incorporar elementos visuais reconhecíveis, como flechas representando vetores ou raios de luz, o que pode passar a falsa noção de realidade e concretude para tais elemen-

tos. Nesses casos, as imagens funcionam como analogias e não guardam uma relação precisa e verdadeira com os objetos que representam. Ocorresse isso em sala de aula, o professor tomaria o cuidado de enfatizar os limites e as correspondências da analogia, discutindo com o aluno o significado e a razão para a escolha de tais imagens. Contudo, em um ambiente virtual, caso o aluno esteja por conta própria, a correspondência inapropriada poderá, futuramente, funcionar como um entrave para a continuidade do ensino.

Comunicação síncrona ou não síncrona entre usuários

Caminhando para outro aspecto das tecnologias, poderíamos nos questionar sobre quais agentes do ensino os alunos poderiam dialogar antes da ascensão e inserção dos recursos digitais no ensino? O máximo idealizado para uma relação dialética no ensino era conferida pelas possibilidades: professor-aluno e aluno-aluno. Sob essa perspectiva, uma vez mais as possibilidades se ampliaram. Tem se tornando cada vez mais frequente, no ensino, o uso de serviços eletrônicos de correspondência, *chats on-line*, fóruns de discussão, redes sociais e inúmeras outras ferramentas digitais, tanto públicas quanto privadas, por meio das quais profissionais da educação compartilham seu conhecimento e interagem a distância com estudantes e outros professores ao redor do mundo. Mais uma vez a crítica aparece nesse ponto para destacar a importância da escolha consciente do tipo de interação, uma vez que, de forma geral, não há como verificar a qualificação dos profissionais do outro lado da rede.

Reflexões finais

Caso se aceite como um dos objetivos finais do ensino o de preparar estudantes para que se tornem futuros profissionais competentes e aprendizes autônomos, existe um argumento bastante convincente a favor do uso de tecnologias. Cada vez mais, cientistas e outros profissionais estão implantando sistemas colaborativos baseados em conexões via internet. Esse meio de comunicação vem ganhando força e importância no mundo profissional. Conforme vimos anteriormente, o trabalho cooperativo é fundamental para a conquista de solução de problemas complexos; por conseguinte, a aprendizagem colaborativa é um passo determinante no sentido de preparar o jovem estudante para a futura realidade profissional. O contraponto desse argumento se situa no fato aceito em educação que diz que, no ensino, diferentemente do que se poderia esperar em outras áreas, o "algo a mais" pode representar "algo a menos". No caso dos recursos digitais, o "a mais" pode estar na forma de sobrecarga de informação, o que atrapalharia o processo de conexões de que a aprendizagem carece para se estabelecer, transformando-se, portanto, em "a menos". Além disso, o excesso vai na contramão da importância atribuída ao empenho próprio, à tentativa e erro, à busca pelo acerto, enfim, ao dispêndio de energia e investimento de tempo. A dificuldade e superação conferem valor ao conhecimento obtido, contribuindo assim para sua permanência duradoura na estrutura cognitiva do aluno. Outro medo dos educadores diz respeito à facilidade pela qual o aluno se desvia de seu objetivo e se distrai em relação às suas metas quando navega na internet. A autodisciplina é qualidade indispensável nessas ocasiões e evitaria a perda de foco, contudo não há como assegurar que o aluno já tenha se apropriado dessa qualidade antes que acesse o mundo virtual. Sendo assim, é possível começar a elaborar o argumento de que o uso dos recursos digitais em ensino deve ser sempre mediado por um profissional da educação, que exercerá o papel de orientar, chamar a atenção, discutir, enfim, direcionar o rumo da aprendizagem obtida por intermédio desses recursos. Nossa crença é de que a exploração proveitosa de recursos tecnológicos conectados à rede exige a mobilização de habilidades relacionadas à pesquisa que, talvez, o jovem estudante ainda não seja capaz de demonstrar, pois a infinidade de informações, confiáveis ou não confiáveis, que estão disponíveis deverá ser analisada pelo sujeito que a acessa. Para uma análise como essa, ele deverá lançar mão de habilidades como identificar, selecionar, comparar, relacionar e tomar decisões que o capacitem a navegar no mar de possibilidades da internet, com uma bússola que lhe permita seguir um caminho seguro.

Vale terminar dizendo que, apesar do grande potencial de colaboração e aumento do espectro de possibilidades que os recursos digitais oferecem para o ensino, a nosso ver, nada substitui o professor presencial. O professor de sala é aquele que olha para seu aluno à procura de indicativos que vão além das possibilidades virtuais de interação. Ele fica atento aos sinais de motivação ou indiferença, de entendimento ou dúvida, de simpatia ou antipatia para, a partir daí, criar vínculos intelectuais por meio dos quais a relação dialógica, essencial à aprendizagem, se estabelecerá. De acordo com esse raciocínio percebe-se, principalmente nessa fase, em que a autonomia ainda não aparece como componente da personalidade do aprendiz, que o professor presencial representa o porto seguro que vai sustentar o desenvolvimento cognitivo do jovem antes que ele alce voo por conta própria. Nessa visão, os recursos digitais, a despeito do enorme potencial, devem ser vistos apenas como complemento didático, usado sob a orientação e recomendação do professor, quem vai assegurar seu uso a favor de um plano maior de ensino e aprendizagem.

9 Temas transversais

Por que a preocupação com a transversalidade no ensino?

A necessidade de articular conhecimentos disciplinares nasce do fato de que, no mundo, os processos e os objetos extrapolam os saberes de uma única disciplina escolar. Algumas situações com as quais especialistas de diferentes áreas deparam faz com que desenvolvam competências que mobilizam os aportes de várias disciplinas, além de conhecimentos próprios de seu campo de atuação. Um ensino atualizado, portanto, deve ser aquele que propicia conexões entre as diferentes áreas do saber na busca por explicações sobre o mundo, destacando e significando conceitos e problemas comuns a todas elas.

Com essa necessidade, fica fácil questionar a validade de um ensino fragmentado, que não explicita a relação epistemológica e prática entre domínios do conhecimento. Também é fácil entender a interdisciplinaridade, tendência atual do ensino, como a saída lógica para esse impasse, uma vez que a relação entre disciplinas proporciona uma visão unificada da natureza, ajudando o indivíduo a posicionar-se com mais propriedade e responsabilidade perante as questões que influenciam a vida coletiva.

Por que foram criadas disciplinas escolares?

A interação e a contemplação da natureza têm impulsionado o ser humano a buscar o entendimento sobre o mundo em que vive. Essa busca tem gerado um enorme acúmulo de conhecimentos. Desse modo, a separação e a organização dos saberes adquiridos são condições para que se dê continuidade ao estudo e ao aprofundamento de assuntos específicos. A classificação em temas afins facilita o trabalho de cientistas e estudiosos, que devem se apropriar dos conhecimentos anteriores e com base neles construir novos conhecimentos para o avanço da ciência. Em um primeiro momento, portanto, a reunião do conhecimento por padrões de afinidades surge da necessidade de dar continuidade à própria ciência, daí a ramificação em domínios e subdomínios de conhecimento ser uma constante na história da humanidade. Essa separação também possibilitou a especialização profissional, fundamental para a manutenção de uma vida harmônica em sociedade. Hoje em dia é muito comum a figura do especialista que dedica sua vida a estudar e se aprofundar em áreas específicas do saber. A partir daí exercem funções também específicas, porém essenciais ao bem-estar moderno, representadas pelas profissões de médico, cientista, geofísico, meteorologista, apenas para citar algumas.

Contudo, a divisão e o agrupamento por afinidade ainda estão associados à utilidade do conhecimento. Porém, quando o conhecimento entra na escola, cresce ainda mais a necessidade de modificá-lo, até mesmo com mais fragmentações e compartimentalizações, agora por razões didático-pedagógicas. O conhecimento que nasceu em um contexto e que serve para ser usado naquele contexto, quando migra para a sala de aula, deve se tornar um conhecimento ensinável. Para tanto, recebe modificações e descontextualizações bem descritas pela teoria da transposição didática. Vale notar, portanto, que a fragmentação do saber em disciplinas surgiu da necessidade de organizá-lo, tanto em âmbito profissional quanto em âmbito escolar e, portanto, teve uma razão de ser. Contudo, o acúmulo de saberes disciplinares na escola nos dias atuais é tamanho que é comum que o aluno e, por vezes, o próprio professor, se perca quanto aos motivos reais de ensinar determinados assuntos. Além disso, o motor propedêutico que tomou a escola por tanto tempo descaracterizou ainda mais os saberes escolares, transformando-os em algo que deveria ser aprendido sem que se buscasse explicitar razões claras para isso. Conforme mencionamos em outros tópicos, um ensino nesses moldes, sem atribuição de sentido e significado e fundamentado na enorme fragmentação em que se apresenta, gera uma aprendizagem mecânica não duradoura ou transferível a outros contextos. Saberes com pouca duração e não transferíveis contribuem pouco com as futuras necessidades profissionais e não profissionais do aprendiz. A separação, organização e classificação do saber adquirido foram ações motivadas por necessidades justas. Todavia, essas ações devem ser acompanhadas do esforço em se apontar o caminho de volta, fornecendo razões que unificam e reintegram esses saberes.

Qual é o problema da compartimentalização na escola?

O problema de um ensino fragmentado é supor que a integração dos saberes se dará de forma espontânea pelo estudante. Como vimos, questões ou situações reais demandam saberes de mais de uma disciplina escolar. As pesquisas em ensino de Ciências têm mostrado que essa integração entre saberes das diferentes disciplinas dificilmente ocorrerá caso não haja um trabalho didático-pedagógico planejado para esse fim, cujo objetivo seja o de preparar o aluno para a mobilização de saberes multidisciplinar.

De que forma levar em conta a multidisciplinaridade intrínseca à realidade?

Um trabalho didático-pedagógico que realmente considere a interdisciplinaridade deveria estar atrelado ao compromisso coletivo do corpo docente e, se possível, da comunidade local da escola. Algumas estratégias promissoras nesse sentido levam em conta as práticas sociais de referência, tidas como as atividades profissionais, ou não, que pertencem à cultura de uma sociedade e que servem de referência social para o ensino.

Assim, a ideia é haver uma caracterização das habilidades e conhecimentos associados a uma prática social reconhecida pelo aluno para, a partir dela, estruturar o plano de ensino-aprendizagem. Sob esse enfoque, o sentido do conteúdo seria dado de uma forma natural, já que o aluno teria consciência de que as situações propostas pertencem àquela prática que lhe é familiar.

Em uma comunidade na qual a indústria, por exemplo, tivesse presente, as práticas industriais poderiam servir de referência para o ensino. Desse modo, a escolha de produtos químicos, a automação de processos, o emprego de maquinários específicos, a elaboração e o *design* de produtos, os cuidados ambientais próprios à indústria, entre muitos outros elementos que consideram as atividades industriais, poderiam servir de base para a programação curricular da escola. Percebe-se, portanto, a necessidade de um trabalho minucioso por parte do corpo docente para que tal metodologia fosse levada até a sala de aula. Ela exige que os professores aventurem-se para fora de suas disciplinas e estejam dispostos a trabalhar com problemas que ultrapassam seus conhecimentos específicos.

Além disso, seria necessária uma reformulação, fundamentada e planejada, da transposição didática. Outras duas estratégias promissoras para um ensino interdisciplinar são os projetos temáticos e temas geradores, descritas no tópico anterior. No ensino por projeto ou por temas geradores, o conhecimento vai sendo construído, e as habilidades vão sendo desenvolvidas na medida em que surgem as necessidades, sendo estas identificadas tanto pelo aluno como pelo professor.

O conhecimento a ser aprendido será aquele exigido para a superação da fase em que se encontra o projeto, não importando seu caráter disciplinar. Assim, a composição e a articulação das disciplinas são um fator essencial para o avanço do ensino por projeto.

No entanto, assim como ocorre com as práticas sociais de referência, o trabalho por projeto ou temas geradores requer um compromisso coletivo dos profissionais da escola, sem o qual, dificilmente, o projeto atingirá objetivos significativos de aprendizagem.

O que essas metodologias de ensino têm em comum é o tratamento de temas transversais, temas que fogem da abordagem isolada das disciplinas escolares. Os assuntos escolhidos no trabalho por projetos devem ser complexos o suficiente para que ultrapassem os diferentes campos do conhecimento.

Temas transversais são aqueles que precisam do saber de várias disciplinas para que se tornem compreensíveis e que apontam problemas cuja solução se dá apenas pelo uso de métodos e saberes dessas diferentes disciplinas. Não faria sentido, portanto, um trabalho pautado pela transversalidade que tomasse a perspectiva rígida de apenas uma disciplina. Assim, pode-se dizer que a transversalidade de temas promove a articulação interdisciplinar e carece dela. Além disso, a transversalidade também admite a entrada de saberes extracurriculares na escola, uma vez que problemas reais ultrapassam a fronteira escolar. Como exemplos de temas transversais que fogem do domínio disciplinar, podemos citar: energia, poluição ambiental, saúde, ética, música e tecnologia.

A contribuição desta obra

Entendemos que o ensino centrado nas práticas sociais, por projeto ou por temas geradores, e que, portanto, favoreçam a interdisciplinaridade, devem originar-se de uma reorientação curricular e da aceitação, por parte do corpo docente, dessa nova maneira de conduzir o processo didático. Aquele que ambiciona uma prática docente com essas características, no entanto, deve estar subsidiado por um material didático que o auxilie. Deve contar com um material conveniente, que considere a visão de outras disciplinas, que proponha problemas que transcendam a solução disciplinar, que aborde temas transversais, relacionando as diferentes áreas do conhecimento, explicitando regiões afins e identificando regiões complementares.

Nesse sentido, procuramos elaborar um livro que pudesse dar sua parcela de contribuição para um ensino com a expectativa da interdisciplinaridade. Chamamos a atenção, no entanto, que, em nosso entender, um ensino assim pressupõe a utilização de várias fontes de pesquisa e não apenas do livro didático. Entendemos que será trabalho dos professores e dos próprios alunos pesquisar e selecionar fontes que tragam o conteúdo necessário para cada estágio do ensino. Entretanto, acreditamos que nossa Coleção tem muito a contribuir para um ensino interdisciplinar.

Durante a escolha e organização da obra, mantivemos em mente a necessidade de vincular os conceitos físicos às situações reais, situações cujo entendimento abarcasse disciplinas distintas. Por isso acreditamos que alguns exemplos fornecidos ao longo do texto central de cada capítulo poderão contribuir para o trabalho didático interdisciplinar. Essa contribuição se torna mais evidente, no entanto, nas seções **Trabalho em equipe**, **Física tem história**, **Física explica** e, em especial, na seção **Compreendendo o mundo**, seções que apresentam uma conexão direta com fatos, situações e tecnologias do cotidiano e cuja compreensão se dá pela articulação lógica de saberes multidisciplinar. Além disso, dedicamos uma unidade completa do segundo volume da Coleção ao estudo do tema transversal **Energia e Meio Ambiente**.

A escolha da inserção mais acentuada desse tema transversal é justificada por sua urgência e atualidade. Esse tratamento mais cuidadoso ao tema energia e meio ambiente se deu naturalmente, uma vez que sua conceituação passa, em Física, pelos assuntos abordados até aquela parte do curso do segundo volume da coleção. Apesar de a abordagem desse tema ter se dado principalmente pela via dos procedimentos da Física, fizemos referência, sempre que possível, aos saberes da Química e da Biologia subjacentes. Com isso procuramos contribuir, ao menos de forma moderada, para uma visão um pouco mais abrangente e integrada sobre energia e meio ambiente.

Conceitos unificadores em ciências

Para aqueles que almejam uma orientação mais específica sobre um ensino interdisciplinar bem planejado, descreveremos a seguir algumas sugestões encontradas no livro *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*, dos professores de pós-graduação em ensino Demétrio Delizoicov, José Angotti e Marta Pernambuco. Suas ideias, a nosso ver, trazem uma forma clara de organizar o ensino interdisciplinar. Os autores identificaram quatro conceitos que unificam conteúdos das Ciências Naturais e, desse modo, são úteis durante a seleção e construção curricular de um ensino que tenha como intuito a articulação lógica das Ciências Naturais.

Os quatro conceitos unificadores levantados pelos autores são: **transformação**, **regularidade**, **energia** e **escala**.

A ideia de **transformação** está presente tanto na Física como na Biologia e na Química, interligando conceitos de cada uma delas e entre elas. O movimento, os processos biológicos, a passagem do tempo, as reações químicas, e tantos outros exemplos, ocorrem sob o comando da transformação.

As **regularidades** governam as próprias transformações, ou seja, as transformações são passíveis de classificações e categorizações, justamente por apresentarem regularidades.

A **energia** incorpora os dois primeiros conceitos, uma vez que suas diferentes modalidades têm como principal característica comum a regularidade de se conservar ao se transformar. Além disso, essa característica se mantém imaculada, seja na perspectiva biológica dos seres vivos ou nos processos supostamente inanimados da Física e da Química. Aliás, energia talvez seja um dos conceitos que deixa a artificialidade da fragmentação disciplinar mais evidente, uma vez que as várias modalidades energéticas se intercambiam dinamicamente entre os objetos de estudo dessas três disciplinas, sem "preconceito" com nenhuma delas.

Finalmente, o conceito de **escala** unifica processos em nível micro e em nível macro, revelando suas regularidades físicas, químicas e biológicas. Existem fenômenos e processos que independem da escala e, quando isso ocorre, esses processos e fenômenos são sempre caracterizados matematicamente por uma lei de potência. Seus gráficos log-log apresentam-se sempre como uma reta inclinada.

Últimas considerações

Esperamos, com a elaboração desta obra e composição deste guia de orientações, oferecer aos professores um livro que possa ser utilizado de fato em sala de aula. Um livro que coopere com aquele que acredita no ideal do ensino transformador e da aprendizagem significativa voltada à formação da cidadania. Um livro que ressoe com a expectativa de formar cidadãos sensibilizados com os problemas modernos, cidadãos capazes de contribuir de forma competente para a busca de soluções éticas e para a melhoria do panorama mundial.

10 Sugestões de abordagem e resoluções

Apresentamos uma sugestão de abordagem acompanhada das resoluções dos exercícios de cada capítulo. As sugestões são baseadas nas experiências de sala de aula que tivemos. Porém, o caminho a ser trilhado por você pode, e deve, ser diferente do nosso, pois as situações são bem diferentes. Esperamos, assim, que essas sugestões ajudem você a criar o seu método de aula.

UNIDADE 1 – Apresentação da Física

CAPÍTULO 1 – Física: uma ciência da natureza

Neste capítulo, nosso objetivo é mostrar aos alunos uma visão geral da Física, para que eles percebam que os conhecimentos que serão desenvolvidos estão relacionados à sua realidade, ajudando assim no desenvolvimento da capacidade de associação de soluções para problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro, com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico e também no confrontar das interpretações científicas com as baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

Frequentemente encontramos estudantes que acham que a escola é uma obrigação enfadonha. Explane que, ao contrário de uma obrigação, a escola é um direito. Exercer esse direito é um ato de liberdade e cidadania.

Inicialmente, sugerimos que você trabalhe com o quadrinho de abertura do capítulo, que foi construído para mostrar que várias áreas do conhecimento desfilam à nossa frente durante um curto intervalo de tempo.

Após os alunos lerem, repasse os quadrinhos, solicitando a participação da turma na identificação dos ramos do conhecimento a que cada um se refere: Esporte, Culinária, História, Cinema, Literatura e, naturalmente, Física.

Prossiga comentando a **fase intelectual** em que vivemos, não no sentido de uma profissão, mas destacando que as tarefas mecânicas e repetitivas estão cada vez mais automatizadas, e como cresce a quantidade e a transmissão de conteúdo.

Alguns detalhes observados nos quadrinhos que se referem às grandezas físicas são: hora (instante), velocidade, altitude, temperatura, etc. Estamos tão habituados com essas grandezas que raramente as identificamos como parte dos conhecimentos físicos da natureza.

Relacione algumas das grandezas que estão no quadrinho com tópicos da Física, por exemplo: velocidade com a Cinemática e a Dinâmica, temperatura com a Termologia, televisores com a Eletricidade, raio X com ondas eletromagnéticas, etc.

1. Organização do conhecimento

Antes de falar sobre o lugar da Física no conhecimento em geral, é interessante construir uma pequena lista de vários saberes e costumes. Sugerimos começar com alguns exemplos: história, agricultura, ética, folclore, literatura, música, futebol e culinária. Peça, então, aos alunos para ajudar, completando com mais algumas áreas. Assegure-se de que a lista contenha Biologia, Física e Química – as Ciências Naturais –, para apontá-las depois. Além de motivar a participação da sala, traz os conhecimentos prévios dos alunos à tona.

Feita uma pequena lista, discuta quais áreas podem se enquadrar no critério de Aristóteles sobre Ciência, em particular as Naturais, de acordo com sua máxima:

"Só há ciência quando a conhecemos pelas causas."

Depois explique o que é conhecer pelas causas, relacionando os fenômenos numa estrutura lógica. A forma de raciocinar em uma estrutura lógica é o alicerce das Ciências e, talvez, por essa razão Aristóteles tenha dedicado à Lógica um tratado inteiro: o *Organum*.

Acompanhando o texto, mostre então como, com a expansão do conhecimento, a filosofia natural foi se dividindo, com o estabelecimento da Biologia, da Química e da Física. Por fim, comente como esses ramos das Ciências Naturais estão entrelaçados em nossos dias, tanto na Ciência quanto nas Tecnologias.

Como descrito no livro do aluno, demarque o objetivo da Física: compreender, descrever, prever e, se possível, controlar o comportamento da matéria ao longo do tempo e do espaço. Depois comente as grandes áreas dentro da Física.

À parte o conhecimento em si, um dos grandes benefícios do estudo das Ciências é a formação da estrutura do bem pensar, educar a razão.

> A preocupação em educar a razão, ao contrário do que possa parecer numa aproximação inicial, não constitui um fechamento ou a reafirmação de uma tradição intelectualista totalmente oposta à exigência atual de uma formação integral, mas diz respeito ao cerne de qualquer proposta educativa.
>
> A razão, ao contrário, é um olhar aberto para a realidade e pode ser definida como a "capacidade de dar-se conta do real segundo a totalidade dos seus fatores", é a abertura para acolher todas as possibilidades contidas na complexidade e multiplicidade do real.
>
> Marli Pirozeli, em conferência apresentada em fevereiro de 2008. O texto integral está disponível em: <www.pucsp.br/fecultura/textos/educacao/2_educarazao.html>. Acesso em: jul. 2015.

É hora dos exercícios. Sugerimos dividir a sala em equipes e, após a resolução, a equipe 1 apresenta o exercício 1, a equipe 2, o exercício 2 e assim sucessivamente.

2. Como a Física estuda os fenômenos

Após a leitura do tópico, o que pode ser feito em casa, aproveite o exemplo de um apagador que é solto de uma altura, para iniciar a discussão.

— Por que o apagador cai? — Ouça as respostas.

Proponha a explicação:

— O apagador cai porque é atraído pela Terra.

Vamos mais além:

— Por que a Terra atrai o apagador?

Proponha o princípio:

— Porque matéria atrai matéria.

Provavelmente, algum aluno vai querer acrescentar:

— Por qual motivo matéria atrai matéria?

Explique então que Newton tomou como verdadeiro que matéria atrai matéria, sem explicação. Comente que se houvesse uma explicação, esse não seria o princípio, o ponto de partida. Acrescente que, diferentemente do que ocorre na Matemática, a Física não se contenta com a mera aceitação do princípio. Ele deve ser verificado, estar de acordo, com os experimentos.

Depois pergunte: como evitar que fenômenos estranhos ao que se quer verificar com o experimento interfiram no resultado? Responda: fazendo um experimento controlado.

Retome o ciclo de Roger Bacon; não há uma definição completa do que seja o método científico, mas a proposta de Roger Bacon é um bom começo para a discussão.

É interessante comentar: Se o ciclo foi proposto por Bacon, por que razão Galileu é comumente visto como ícone do método científico?

Provavelmente porque Galileu aplicou brilhantemente as ideias de seus antecessores, inclusive da Lógica do próprio Aristóteles, em casos concretos, provendo maneiras para verificações independentes. Provavelmente também porque Galileu não dependia de escassos pergaminhos para divulgar seu trabalho, uma vez que o papel e a imprensa já eram disponíveis de maneira razoavelmente farta em sua época. Além disso, Galileu dispunha também de Estados laicos, nos quais seus trabalhos puderam ser publicados a despeito da proibição da Igreja da época.

Trabalho em equipe

Esperamos com esse trabalho motivar o aluno à pesquisa e à apresentação de forma clara e objetiva. O contato com os epistemólogos mais influentes atualmente traz uma visão evolucionária das ideias que cercam a filosofia da ciência. Aproveite essa proposta para desenvolver o trabalho em equipe, a pesquisa e a transmissão de informação de seus alunos.

Encerre o tópico discutindo os exercícios propostos. Veja a seção **Resoluções dos exercícios**, no final deste capítulo.

3. Uma lei física

Escolhemos a lei da alavanca como exemplo para apresentar o que é uma lei física: a quantificação de um princípio.

Você pode construir, de maneira simples e barata, um aparato para verificação dessa lei com os alunos, utilizando um cabo de vassoura e duas garrafas PET de 2 L que serão dependuradas uma em cada lado do cabo, formando uma alavanca cujo ponto médio você apoiará em dois dedos da mão. Com uma caneta de ponta macia, faça várias marcas nas garrafas correspondentes a diferentes volumes de água que elas conterão, utilizando um pequeno copo d'água como medida. Para que fique desprezível o peso próprio das garrafas, utilize uma quantidade de água razoável em cada uma delas.

Verifique diferentes situações de equilíbrio variando as massas e deslizando as posições em que ficarão dependuradas as garrafas. Confira se os produtos das massas pelas respectivas distâncias ao ponto médio se igualam.

O ponto alto dessa atividade acontecerá quando você fizer uma previsão. Por exemplo, faça com que uma garrafa contenha o triplo da quantidade de água da outra. Coloque a de maior massa um palmo à esquerda do ponto médio da alavanca. A outra, com um terço da massa, deverá ser pendurada então três palmos à direita. Peça para os alunos sugerirem outras relações entre as massas e preverem as posições para que o sistema fique em equilíbrio. Com esse exemplo simples você terá mostrado como é importante saber manipular algebricamente as grandezas físicas, ou seja, a importância da Matemática na Física.

Para refletir

A ideia da pergunta é fazer o aluno resgatar os conhecimentos prévios, adaptá-los ao contexto visto e tomar uma decisão: se a lei é válida ou não. A lei continua válida para a situação em que o ponto de apoio não é fixado no meio da barra.

Trabalho em equipe

O objetivo desse trabalho em equipe é promover a introdução à linguagem própria da Física que envolve tabelas, gráficos ou relações matemáticas. Nela os alunos são incentivados a desenvolver sua capacidade de elaborar comunicações orais e escritas para relatar, analisar e sistematizar o experimento.

Física tem História

Além de proporcionar informações a respeito da aparição do cometa Halley, o texto visa salientar a importância da Matemática para a descrição dos fenômenos físicos. Isso está salientado na questão proposta aos alunos no final do texto.

4. Física: uma presença na História

Como o próprio título destaca, a intenção do tópico é apresentar brevemente a presença da Física ao longo da História.

As polêmicas podem ser elementos instigantes no processo de aprendizado. Proponha a seguinte situação: um físico diz que a Física influiu decisivamente no processo histórico, enquanto um historiador afirma que o processo histórico foi quem trouxe os conhecimentos da Física. Qual deles está com a razão?

Comente que essas afirmações categóricas, frequentemente baseadas apenas em opiniões, não têm reconhecimento nas Ciências. Ambos estão parcialmente certos e parcialmente errados. O processo histórico é um tecido costurado por vários fatores, entre eles interesses econômicos, movimentos sociais e crenças religiosas, no meio dos quais emergiu a Ciência. Por outro lado, não se pode negar a influência das descobertas científicas e tecnológicas na História. Cite exemplos como: energia elétrica, penicilina, pasteurização, energia nuclear, transportes, salubridade do trabalho, hábitos de higiene e necessidade de saber procurar a informação no mundo tão permeado por todo esse novo acervo.

Na Idade Média, os estudos eram separados em Teológicos e em Ciências Humanas (nome para diferenciá-los dos estudos sagrados), que englobavam Lógica, Gramática, Retórica, Aritmética, Música, Geometria e Astronomia. Atualmente, as Ciências Humanas se referem à Sociologia, História, Geografia, além de outras, enquanto a Física é parte das Ciências Exatas.

Arriscamos dizer que, pelo fato de atualmente a Física não ser parte das Ciências Humanas, alguns estudantes podem ter a visão de que a Física é desumana, árida. Comente que a História mostra exatamente o contrário e esclareça ainda que toda Ciência é humana.

O texto sobre tecnologia pode ser lido atentamente pelos alunos antes de uma breve discussão sobre o papel das tecnologias atualmente e na História. Realce a feliz conjunção de fatores ao final do século XV: as universidades, o papel e a imprensa que permitiram a expansão e a preservação do conhecimento em larga escala.

Discuta o exercício que encerra o tópico após os alunos terem elaborado suas respostas.

5. Finalizando

Sugerimos discutir a seguinte questão: se o conhecimento científico é tão bem estruturado do ponto de vista lógico, não deveria ser assim todo conhecimento? Ressalte que o ser humano é plural. A razão é uma de suas grandes aptidões, mas ele também sonha, chora, canta, pinta, escreve poemas, trabalha, luta pela sobrevivência, tem amigos, pratica esportes e interage com a sociedade.

Em construção

Em todos os capítulos, apresentaremos um tema relacionado ao desenvolvimento do capítulo, bem como a vida e a obra de um ou mais personagens da Física que tenham colaborado com a construção dos alicerces das ciências físicas. O autor escolhido para este capítulo inicial foi Aristóteles.

A importância da Filosofia na organização do conhecimento já foi destacada no livro do aluno. Aristóteles, seguindo seus antecessores Sócrates e Platão, prossegue na busca da perfeição do raciocínio. Você pode detalhar um pouco como a Lógica, tratada por Aristóteles em *Organum*, é importante em uma infinidade de áreas, com alguns exemplos.

Vejamos dois exemplos.

Exemplo 1:

Premissa maior: Zibólia é uma região muito fria o ano todo.

Premissa menor: Jota é uma cidade de Zibólia.

Conclusão: Jota é muito fria o ano todo.

Agora, apresente o seguinte[1]:

"Todos os zoides quacam.

Zib é um zoide.

Portanto, Zib quaca."

O que torna a Lógica universal é o fato de que, admitidas as duas premissas, a conclusão que Zib quaca é verdadeira, quaisquer que sejam os significados de zoides, Zib e do verbo quacar.

Solicite aos alunos alguns exemplos de silogismos em Economia, Direito, História, etc.

Localize o momento histórico da obra de Aristóteles. Muito provavelmente, uma das intenções de sua Lógica era combater os sofistas que usavam construções retóricas ardilosas em suas argumentações: os sofismas. Em seu escrito *Sobre as refutações sofísticas*, Aristóteles apresenta uma lista de sofismas. Os sofistas vendiam cursos sobre essa arte. A respeito dos sofismas, dizia Platão que eram uma perversão voluntária do raciocínio demonstrativo para fins geralmente imorais.

Em relação à questão proposta aos alunos no final da seção **Em construção**, é importante salientarmos que, neste momento (final do Capítulo 1), ainda não foram trabalhados, com os alunos, os conceitos de "referencial" e "lei da inércia".

Entretanto, podemos, após o mapeamento das respostas dos alunos e suas justificativas, fazer o experimento em sala de aula: pedir a um aluno que atire um objeto verticalmente para cima e verificar que ele retorna na mão do atirador. Como justificar esse fato?

Imediatamente antes do lançamento, tanto o aluno como o objeto estão fixos na superfície da Terra e, portanto, giram em torno do centro da Terra. Quando o objeto é lançado verticalmente para cima, ele mantém seu movimento anterior, ou seja, ele passa a apresentar dois movimentos simultâneos: o de subida e descida vertical e o movimento em torno do centro da Terra. Em resumo, podemos afirmar que os objetos lançados para cima, assim como a atmosfera e todos os habitantes do nosso planeta, são arrastados por ele em seu movimento de rotação em torno do seu centro e em seu movimento de translação em torno do Sol.

Leitura adicional: A Matemática e a Natureza

A presença da Matemática nas Ciências tem uma longa história, com idas e vindas. Para complementar esse fato, em relação ao Livro do Aluno, sugerimos a você, professor, a leitura dos dois textos seguintes.

O aproveitamento total ou parcial deles em sala de aula fica a seu critério. As questões apresentadas não são trivais, mas bem conduzidas podem ser proveitosas.

A Matemática descreve a Natureza?

Para tentar responder a essa pergunta vamos fazer um breve apanhado histórico, começando pelo filósofo grego Pitágoras (séc. VI a.C.), a quem se atribui a máxima: "Educai as crianças e não será preciso punir os homens".

A filosofia de Pitágoras considerava que a Natureza poderia ser descrita por números. Como a Matemática é **universal**, a proposta de Pitágoras evocava uma forma de descrição do mundo natural independente do tempo, crença ou opinião.

Por exemplo, a narrativa do "Milagre dos Peixes" contida nas *Escrituras*. Como distribuir dois peixes por 150 pessoas? Se a Matemática não fosse universal, a grande quantidade de peixes que recebeu cada uma das pessoas **não** seria um milagre.

O que deu errado na proposta de Pitágoras? Segundo algumas versões, Hipaso, um discípulo da escola pitagórica, demonstrou que a diagonal do quadrado de lado unitário era irracional ($\sqrt{2}$), o que significa que essa medida não pode ser escrita como a razão entre dois números inteiros. Mas qual é a consequência disso? A consequência é que não conseguimos escrever essa quantidade com uma sequência finita de algarismos.

Ora, se não dispomos de algarismos para escrever a simples diagonal de um quadrado de lado unitário, como podemos dizer que tudo na Natureza é número? Dessa forma, o casamento entre a Natureza e a Matemática proposto por Pitágoras não durou muito. Algumas versões mais radicais sobre a história de Hipaso dizem que ele foi atirado ao mar por causa de sua descoberta. Com o tempo, mais uma imensidade de irracionais foi sendo descoberta ($\sqrt{3}$, $\sqrt{5}$, $\sqrt{7}$ ...). Essas quantidades, por não poderem ser expressas por uma sequência finita de algarismos, eram chamadas de **incomensuráveis**.

Provavelmente, por essa razão a descrição das Ciências Naturais feita por Aristóteles no séc. IV a.C. tenha sido predominantemente qualitativa, embora ele tenha proposto uma solução para os paradoxos de Zenão. Na obra de Aristóteles, apenas uma pequena parte da filosofia de Pitágoras mantém um fraco sopro de vida: a descrição dos fenômenos do mundo supralunar, considerado perfeito e, portanto, em harmonia com a Matemática. Assim eram feitas as previsões de eclipses, equinócios e solstícios.

Podemos ter uma ideia de quanto a questão dos incomensuráveis incomodava os filósofos da Grécia antiga analisando a demonstração da lei das alavancas feita por Arquimedes no século III a.C. Cautelosamente, ele separa a demonstração em dois casos: um para os comensuráveis e outro para os incomensuráveis.

Considerando a forma como vemos a Física atualmente, poderia se dizer que a demonstração de Hipaso fez um dos maiores estragos na História da Ciência. Na Europa ocidental, a separação entre a Matemática e os fenômenos naturais do mundo sublunar perdurou durante a Idade Média.

A partir do século XVI, no Renascimento, a Matemática retorna gloriosamente nas Ciências Naturais. Mas como?

Com régua e compasso, um geômetra pode construir um quadrado de lado unitário e, embora sua diagonal não possa ser expressa por uma sequência finita de algarismos, ela pode ser representada por um segmento de reta. Assim, invocando a Geometria, as grandezas físicas, racionais ou não, passaram a ser trabalhadas

[1] Navega, S. *Pensamento crítico e argumentação sólida*. São Paulo: Intelliwise, 2005.

matematicamente pelos segmentos que as representavam. Por essa razão, tanto na obra de Galileu quanto na de Newton, as demonstrações são todas geométricas.

No começo do século XVII, mais um laço vem fortificar esse casamento. René Descartes propõe a Geometria Analítica, mostrando que os processos geométricos podem ser associados a processos algébricos. Em geral, as demonstrações algébricas são bem mais curtas e elegantes que as geométricas. Depois de Descartes, muitos dos irracionais puderam ser descritos como soluções de equações algébricas com coeficientes racionais. Por exemplo, o terrível $\sqrt{2}$ deixa de ser tão temeroso. Ele é apenas uma das soluções da equação $x^2 = 2$.

Mas a controvérsia ainda não havia terminado. Não demorou muito para demonstrarem que há irracionais que não são solução de equações algébricas com coeficientes racionais, como o π, chamados de números transcendentais. Isso significa que, apenas com régua e compasso, não conseguimos construir segmentos de reta que representem esses números. No entanto, o geômetra pode considerar mentalmente outros instrumentos além de régua e compasso, como um fio ideal que circundaria perfeitamente o círculo de raio unitário. Esse fio teria um comprimento de π unidades.

Vamos considerar agora todas as possibilidades para o valor de um número e todas as possibilidades para a medida de um segmento de reta. Será que para qualquer medida do segmento de reta existe em correspondência um número (racional ou não) e, reciprocamente, para qualquer número (racional ou não) existe também um segmento de reta com a correspondente medida? Essa pergunta é de extrema importância quando falamos de grandezas físicas.

Ao final do século XIX, David Hilbert (1862-1943), um dos mais brilhantes matemáticos da época, estabeleceu uma robusta teoria axiomática para os números reais, respondendo "sim" a ela. A descrição das grandezas físicas então se completa, com o **axioma** da completude.

> **axioma** – premissa considerada necessariamente evidente e verdadeira, fundamento de uma demonstração, porém ela mesma indemonstrável.

A antiga proposta de Pitágoras, moribunda na Idade Média, ganhava então vida eterna, praticamente por decreto.

A Natureza tem uma gramática?

No século XVII, pouco depois da publicação do *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, de Newton, o então bispo de Berkeley criticou a obra dizendo que Newton havia descrito os fenômenos naturais como sujeitos a conjunto de regras, uma gramática.

O bispo alfinetava: — Quem disse que há uma gramática nos fenômenos naturais?

Vamos pegar uma carona na crítica do bispo. Quem nos garante que amanhã a lei da Gravitação Universal continuará válida?

A resposta pode parecer um pouco assustadora:

— Garantia absoluta, não temos.

Temos uma coleção quase interminável de dados mostrando a validade das leis da Física como as conhecemos hoje em centenas de anos ao longo do passado, mas, rigorosamente falando, esse é um processo indutivo. Induzidos que estamos pela enormidade de verificações passadas e em lugares diferentes, cremos que as leis da Física são perenes. Dessa forma, utilizamos para descrevê-las um saber perene – a Matemática – e com ele fazemos previsões e conferimos suas validades no passado, retrocedendo os cálculos e conferindo com os dados existentes.

Nesse cenário, considerando uma postura científica, o questionamento cabível seria: — Há bilhões de evidências da perenidade das leis naturais. Alguém tem alguma para contestar?

Então, se admitimos que haja uma gramática na Natureza, se a conhecemos podemos construir textos coerentes, podemos entendê-la, podemos explicar, descrever, prever situações possíveis e controlar alguns fenômenos.

Estudar as Ciências Naturais, em particular a Física, começa com esse processo de aceitação: há uma gramática que quero aprender.

A gramática será aplicada tendo como pano de fundo um vocabulário.

Resoluções dos exercícios

1 Primeiro, vamos falar da classificação tradicional, em relação ao ensino universitário. Havia o ramo da Filosofia, que comumente englobava também a Matemática; o ramo das Ciências da Natureza, abarcando Física, Química, Biologia; as Ciências Humanas, incluindo Sociologia, Geografia, Economia, Administração, Tecnologia, Letras e Arte. Atualmente, as Ciências estão presentes em todos os ramos do conhecimento, assim como a Tecnologia e a Arte se irmanaram com as Ciências e o lugar do Humano é reconhecido como pilar de todos os ramos do conhecimento.

Sugerimos que você deixe várias equipes, de três ou quatro alunos, fazerem seus diagramas e depois feche com uma discussão geral, agregando todos os resultados.

2 A rigor, todas as definições envolvem o aspecto humano da observação dos fenômenos. O que pode mudar é o enfoque.

Arco-íris: a refração e reflexão nas gotas de chuva é um fenômeno estudado pela Física, mas o mesmo fenômeno está presente em pinturas, histórias e mitos.

Fotossíntese: essencialmente, é objeto de estudo da Biologia, na área de Botânica, mas o fenômeno envolve processos químicos e físicos, como as reações de oxirredução e a interação da luz com a matéria.

Ozônio: A formação do ozônio é estudada na Química, mas também na Biologia, por conta dos impactos ambientais, e na Meteorologia, em virtude das influências no perfil de temperaturas na atmosfera.

Você pode encerrar os comentários ressaltando que não há um fenômeno natural que possa ser isolado em uma única área do conhecimento.

3 A descoberta de Wöehler está tanto no campo da Química como no da Biologia. O ramo da ciência em que se encaixaria hoje é o da Bioquímica.

4 Os ramos do conhecimento envolvidos podem partir do conhecimento empírico e se estender à Física, à Biologia e aos Esportes.

5 Fita métrica, voltímetro, termômetro, hodômetro de um carro, balança, relógio são respostas possíveis. Alguns mais, outros menos, a rigor, todos necessitam de conhecimentos físicos para sua construção.

6 a) Nessa situação, teremos:

$$6 \cdot 4 = (3 + m) \cdot 5 \Rightarrow \frac{24}{5} = 3 + m \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 4{,}8 - 3 = m \Rightarrow m = 1{,}8 \text{ kg}$$

b) $6 \cdot 4 = (3 + m) \cdot 3 \Rightarrow m = 5$ kg

c) A tabela a seguir mostra o valor da massa total, à direita e à esquerda do pivô da alavanca.

Caso	Massa à **direita** (kg)	Massa à **esquerda** (kg)
inicial	6	6
a	6	4,8
b	6	8,0

Conclusão: as massas à direita e à esquerda não são iguais em todos os casos. Você pode aproveitar para verificar se a situação proposta no problema está correta:

$6 \cdot 4 = 3 \cdot 3 + 3 \cdot 5$

Observe que, como os dois corpos de massa 3 kg estão simétricos em relação ao ponto que dista 4 unidades do pivô, isso é equivalente a ter-se um corpo de 6 kg nesse ponto, que é simétrico de *A*.

7 Como o rapaz tem o dobro da massa que a garota, a distância que ele deve estar, em relação ao ponto de apoio, é a metade da distância dela ao mesmo ponto. **Resposta:** alternativa **b**.

8 a) Respostas pessoais. São exemplos: liquidificadores, fogão a gás, micro-ondas, telefone, luz elétrica, computador, relógios, etc.

b) Respostas pessoais.

CAPÍTULO 2 – Grandezas e sistemas de unidades

Neste capítulo, nosso objetivo é conscientizar os alunos da importância das medidas e suas respectivas unidades em nossa vida, fazendo com que eles percebam que os conhecimentos que serão desenvolvidos estão relacionados à sua realidade.

Inicialmente, sugerimos que você faça um levantamento das dúvidas mais comuns dos alunos a respeito dos assuntos que serão tratados. A seguir, apresentamos algumas questões que podem ser as geradoras da discussão:

- Por que é necessária a colocação de uma unidade na apresentação de uma grandeza física?
- Um carro que se movimenta com velocidade de $1{,}8 \cdot 10^2$ km/h em uma rodovia, na qual a velocidade máxima é 100 km/h, deve ser multado por excesso de velocidade ou não?
- Quais as vantagens para a população em geral e para a comunidade científica de se estabelecer "sistemas de unidades"?
- É possível efetuar a operação:
  $250 \text{ m} + 200 \text{ m}^2$? E $100 \text{ L} + 2 \text{ m}^3$?
- O que significa "ordem de grandeza"?
- Em quais situações a "estimativa da ordem de grandeza" pode substituir o valor da grandeza?

Certamente, você acrescentará outras questões a essa lista. Procure, com essas questões, avaliar o conhecimento que os alunos já têm sobre o assunto, solicitando a eles que citem situações do cotidiano nas quais realizam medições e digam qual é a importância das unidades de medida em cada uma delas. Estimule-os a imaginar as mesmas situações se as unidades não existissem ou não fossem padronizadas. Você poderá voltar a essas questões no final do capítulo.

Os exercícios e as atividades propostas ao longo do capítulo foram elaborados visando ao desenvolvimento das seguintes competências:

- Reconhecer e utilizar adequadamente, na forma oral e escrita, símbolos, códigos e nomenclaturas da linguagem científica.
- Consultar, analisar e interpretar textos e comunicações de ciência e tecnologia veiculados por diferentes meios.
- Elaborar comunicações orais ou escritas para relatar, analisar e sistematizar eventos, fenômenos, experimentos, questões, entrevistas, visitas e correspondências.
- Compreender a ciência e a tecnologia como partes integrantes da cultura humana.

1. A importância das medições e das unidades

Não podemos ignorar a grande quantidade de unidades com as quais convivemos – algumas em desuso, outras herdadas de outros países. O problema é que muitas vezes incorporamos as unidades de tal maneira que deixamos de citá-las em nossas comunicações, o que pode acarretar situações imprevistas. Em outras situações, o desconhecimento do real significado de uma grandeza pode acarretar sérias consequências.

Como ponto de partida, sugerimos a colocação de duas situações-problema:

1. Uma pessoa comprou uma geladeira nova. Em casa, ao ligar a geladeira em uma tomada, ela queimou! Após as reclamações de praxe, constatou-se que a geladeira estava preparada para ser ligada em uma tomada de 127 volts e foi ligada em uma tomada de 220 volts. O vendedor deve trocar a geladeira ou o comprador deve arcar com os custos para consertá-la?

2. Como você reagiria se alguém quisesse lhe vender cinco *onças* de prata?

Na primeira situação, a questão é: o vendedor é obrigado a orientar o consumidor sobre o uso do aparelho ou o consumidor deveria ter consultado o manual e verificado a "voltagem" antes de ligá-lo?

Provavelmente, alguns alunos vão mencionar o Código de Defesa do Consumidor (Lei Federal 8.078 de 11 de setembro de 1990). Sugerimos que você faça uma lista das sugestões dos alunos e discuta cada uma delas, inclusive com a consulta à Lei Federal.

Na segunda situação, a primeira ideia que nos ocorre é que se trata de miniaturas do animal "onça" feitas de prata. Mas também poderiam ser cinco onças do metal "prata", visto que a onça é uma antiga unidade de medida de massa, equivalente a 28,7 gramas. Evidentemente, essa situação seria esclarecida na hora, desde que o produto oferecido fosse mostrado por quem o estivesse vendendo.

Para refletir

Ao expressar as medidas de um livro em metros, ou em quilômetros, e as medidas de um terreno em centímetros, ou em milímetros, não estamos violando nenhuma regra. O único inconveniente é que elas não são práticas; as pessoas ficariam em dúvida sobre as dimensões do livro ou do terreno.

Vejamos outro exemplo: As pessoas têm a noção exata do tamanho de um televisor quando especificados em polegadas – 20"; 32"; 50"; etc. A mudança de polegada para centímetro certamente traria inconvenientes na hora da compra de um televisor.

Física explica

O texto permitirá aos alunos compreender que as falhas nas comunicações não ocorrem apenas nas relações informais, mas atingem também as comunidades científicas. Solicite a eles que leiam, analisem e interpretem a reportagem da *Folha de S.Paulo* sobre o fato que levou à destruição de uma sonda espacial da Nasa (Agência Espacial Americana), em 1999.

Na questão, procuramos desenvolver a habilidade de compreender e emitir juízos próprios sobre notícias com temas relativos à ciência e à tecnologia, veiculadas pelas diferentes mídias, de forma analítica e crítica, posicionando-se com argumentação clara.

Solicite a alguns alunos que leiam suas respostas e comente cada uma delas. De modo geral, os alunos devem citar que a obrigatoriedade de todos os países utilizarem um único sistema de unidades em suas comunicações resolveria o problema.

2. Notação científica

Ao longo do curso de Física, os alunos vão se deparar com números que expressam medidas tão grandes quanto as distâncias astronômicas e, também, com números que expressam medidas tão pequenas quanto as dimensões de um átomo. Assim, o uso de potências de 10 é uma maneira prática de apresentar e realizar operações com tais números.

Em primeiro lugar, julgamos necessário fazer uma revisão matemática sobre as operações (soma, subtração, multiplicação, divisão, ...) com potências de 10. Não há necessidade de uma revisão muito extensa, pois essas operações estarão presentes ao longo de todo o curso.

Em relação à apresentação de números em notação científica, devemos esclarecer que nem sempre essa é a forma mais adequada de apresentação dos resultados. O livro-texto traz um exemplo para esse fato: é mais prático escrever 300 km/h do que $3 \cdot 10^2$ km/h. Além da praticidade, a forma "300 km/h" nos dá uma ideia melhor do valor da velocidade.

Sugerimos propor uma série de valores de grandeza para que os alunos decidam qual a melhor forma de representá-las, usando notação científica ou não.

De modo geral, não é necessário prolongar o assunto do tópico além do apresentado no livro-texto, pois ele estará presente em quase todos os capítulos.

3. Sistema Internacional de Unidades (SI)

Antes de iniciar o tópico, sugerimos que você coloque duas questões para que os alunos pesquisem em livros ou, caso haja disponibilidade, na internet:

- Quais foram as dificuldades encontradas pelas sociedades ao efetuarem compras, trocas e/ou vendas de mercadorias?
- O Sistema Métrico Decimal, embrião do Sistema Internacional, foi criado em 1792 como um dos produtos da Revolução Francesa. No que consistiu a Revolução Francesa e quais foram as implicações desse evento histórico no desenvolvimento da Ciência?

No final do livro do aluno existem sugestões de *sites* para pesquisa na internet, caso a escola (ou os alunos) possua computadores conectados à rede. Destaque para os alunos que essas fontes, certamente, não esgotam o assunto.

É importante ressaltar que as tabelas apresentadas nesse tópico são elaboradas com a finalidade de facilitar uma consulta e que, portanto, não devem ser decoradas.

Física tem História

Com base no texto sobre a Revolta dos Quebra-quilos, os alunos podem aprimorar a habilidade de compreender o desenvolvimento histórico da tecnologia, nos mais diversos campos, e suas consequências para o cotidiano e as relações sociais de cada época.

Trabalho em equipe

Você poderá orientar um debate com a apresentação dos trabalhos de cada grupo. Se for possível, convide o professor de História para participar.

4. Medidas de comprimento, área e volume

Neste tópico, procuramos desenvolver habilidades de leitura e interpretação de tabelas, bem como a identificação das unidades referentes a grandezas físicas, comprimento, área e volume, e as possíveis relações entre elas.

Como ponto de partida, propomos a seguinte questão: Por que, de tempos em tempos, a definição do metro sofre mudança? O texto seguinte o auxiliará nessa tarefa.

> Em 1799, na França, o metro tornou-se o padrão legal de comprimento definido como $\frac{1}{10\,000\,000}$ da distância do equador ao Polo Norte. Na 1ª CGPM (Conferência Geral de Pesos e Medidas) em 1899, o metro foi definido como a distância entre duas linhas em uma barra de platina com 10% de irídio, mantida sob condições controladas.
>
> Para atender às necessidades referentes aos avanços tecnológicos, em 1960, a 11ª CGPM revogou a definição até então vigente e o metro passou a ser definido como o comprimento igual a 1 650 763,73 comprimentos de onda no vácuo da radiação correspondente à transição entre os níveis $2p^{10}$ e $5d^5$ do átomo de criptônio 86.
>
> Em 1983, a 17ª CGPM, considerando que 'a definição atual não permite uma realização do metro suficientemente precisa para todas as necessidades', revogou a definição vigente e o metro passou a ser definido como o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $\frac{1}{299\,792\,458}$ do segundo.
>
> Fonte de dados: INMETRO. Disponível em: <www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/Si.pdf>. Acesso em: abr. 2016.

Com relação às unidades de área e volume, além da questão proposta inicialmente, acrescente mais duas questões:

- É possível transformar metro quadrado em metro ou em metro cúbico? E transformar metro cúbico em litros?

A interpretação correta das tabelas 2.3, 2.4 e 2.5 é fundamental para que os alunos identifiquem que comprimento, área e volume são grandezas diferentes e, portanto, não podem ser comparadas.

Para refletir

As distâncias astronômicas são muito grandes quando comparadas com o metro. Daí a vantagem de se utilizar o ano-luz – um múltiplo do metro – para expressar tais distâncias.

Trabalho em equipe

Nesta seção, procuramos promover situações que contribuam para a melhoria das condições de vida da cidade onde o aluno vive ou da preservação responsável do ambiente, conhecendo as estruturas de abastecimento de água e eletricidade de sua comunidade

e dos problemas delas decorrentes, sabendo se posicionar, argumentar e emitir juízos de valor.

Sugerimos que você oriente as equipes para a observação de pessoas que utilizam água para lavar as calçadas, para molhar plantas em épocas de chuvas e, às vezes, sob um sol intenso.

5. Medidas de massa e de tempo

A palavra "peso" aparece entre aspas, pois, na realidade, estamos nos referindo à massa do corpo. Não podemos evitar frases do tipo "**quantos** *quilos* você **pesa**?". Embora tenhamos cometido dois erros nessa frase, essa é a forma como nos comunicamos no dia a dia. Não se trata de exigir dos alunos que passem a usar uma linguagem científica em suas conversas, mas é preciso que eles tenham esse conhecimento e, quando necessário, utilizem a forma adequada.

Física explica

De acordo com texto, o **segundo** é o tempo que dura 9 192 631 770 ciclos da onda eletromagnética relacionada à transição entre dois níveis hiperfinos do átomo de césio-133. Supondo que você tenha gasto 1 min (60 s) para ler o texto, o número (N) de oscilações é:

$N = 9\,192\,631\,770 \cdot 60 = 9{,}2 \cdot 10^9 \cdot 6 \cdot 10 \Rightarrow$

$\Rightarrow N = 55{,}2 \cdot 10^{10} \Rightarrow N = 5{,}5 \cdot 10^{11}$ oscilações.

Física tem História

O tema da seção é o Calendário Gregoriano, promulgado em 1582 pelo Papa Gregório XIII em substituição ao Calendário Juliano. Sugerimos que, além da leitura do texto e das respostas às questões propostas, os alunos façam uma pesquisa sobre os diferentes calendários para explicar uma questão básica: por que o nascimento de Jesus Cristo é comemorado sempre no dia 25 de dezembro e o dia de sua morte não tem uma data fixa?

Para essa pesquisa, além da bibliografia que você indicar e da internet, um bom material de apoio é o livro *O tempo que o tempo tem*, citado no livro do aluno como fonte de referência.

A seguir, apresentamos as possíveis respostas para as três questões formuladas no texto.

1. Devido à divergência entre a duração do ano solar adotada no Calendário Juliano (365 dias e 6 horas) com a que se conhecia em 1582, época do Papa Gregório XIII (365 dias, 5 horas, 49 minutos e 12 segundos).

2. Não. Atualmente, a duração do ano solar é de 365,242190 dias, o que significa dizer: 365 dias, 5 horas, 48 minutos e 45,2 segundos.

3. O ano de 2024 será bissexto, pois 2024 é divisível por 4 e não é um ano centenário (múltiplo de 100).

6. Ordem de grandeza e estimativas

Podemos iniciar este tópico com a seguinte questão: alguém tem ideia da distância, em quilômetros, da Terra ao Sol? É provável que a maioria dos alunos responda que não. Mas suponha que alguém diga "milhões de quilômetros". Embora a resposta não especifique um valor determinado, ela nos dá uma ideia do valor, o que para nós seria suficiente, pois a distância da Terra ao Sol é 150 milhões de quilômetros.

Quando o nosso interesse é somente uma estimativa do valor, a ordem de grandeza se mostra bastante útil. Procure ressaltar que a ordem de grandeza, definida como a potência de 10 de expoente inteiro, que mais se aproxima da medida da grandeza analisada, só pode assumir determinados valores, como ... 10^{-3}; 10^{-2}; 10^{-1}; 1; 10; 10^2; 10^3.

Sugerimos que você leve para a sala de aula um copo de 200 mL cheio de grãos de feijão e peça para os alunos, em equipe, estimarem a ordem de grandeza do número de grãos de feijão existente no copo, usando apenas uma régua comum.

Em construção

A preocupação com as medidas não é um privilégio dos tempos modernos. Isso fica evidenciado nesta seção, na qual o destaque é para o matemático, astrônomo e geógrafo grego Eratóstenes de Cirene, que viveu no século III a.C.

Eratóstenes é o autor do experimento científico considerado por muitos o mais extraordinário da Antiguidade: a determinação do raio da Terra por um processo indireto, que consistiu na medição dos ângulos entre os raios solares e duas varas colocadas verticalmente, cada qual em uma cidade, no mesmo horário. Eratóstenes chegou ao valor do raio da Terra com um erro menor que 7%.

Existem algumas divergências em relação ao valor da unidade de medida denominada *estádio*. Segundo o dicionário *Novo Aurélio Século XXI* (Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999), o estádio é uma "antiga unidade de medida itinerária, equivalente a 125 passos, ou seja, 206,25 m". Com essa relação, a distância de 5 000 estádios, entre Siena e Alexandria, seria de 1 031 km. O valor citado no texto (5 000 estádios equivalem a 789 km) foi obtido em *Nascimentos da Física (3500 a.C.-1900 a.D.)*, de José Maria Filardo Bassalo (Belém: Edufpa, 1996). Tais divergências, contudo, não tiram o mérito do trabalho de Eratóstenes – um experimento simples, mas de grande engenhosidade. Se a Terra fosse plana, os raios solares incidiriam formando o mesmo ângulo nas duas cidades. Ao meio-dia, os raios incidiriam perpendicularmente na Terra, e o ângulo entre a vara e os raios seria 0° nas duas cidades.

Experimento

Professor, os aspectos abordados na atividade de campo não esgotam o assunto (aliás, são só a ponta do *iceberg*), mas acreditamos que são suficientes para provocar uma discussão produtiva, porquanto conectada com a vida do aluno fora da escola.

É importante que cada grupo, além de uma exposição oral, apresente um relatório por escrito sobre os principais pontos destacados no texto. Esse material constitui um excelente mecanismo para a avaliação dos alunos.

Como se mede o número do sapato?

> Tudo começou com um decreto meio maluco do rei Eduardo I, da Inglaterra, em 1305. Ele estipulou que uma polegada equivaleria a três grãos de cevada secos e alinhados. A determinação ganhou a simpatia de alguns sapateiros ingleses, que decidiram confeccionar sapatos em tamanho-padrão, de acordo com a quantidade de grãos alinhados. Trinta e oito grãos equivaleriam ao número 38 e assim por diante. Isso facilitou a vida deles e a dos fregueses que, antes da padronização, precisavam provar várias vezes um sapato até que ele ficasse pronto.
>
> "Os sapatos precisavam ser bem mais largos do que são hoje, porque não havia distinção entre o pé esquerdo e o direito", explica o designer de calçados Luiz Danilo Diniz. A diferenciação entre os lados só foi acontecer no começo do século XIX, nos Estados Unidos.

Mas não adianta enfileirar grãos de cevada para conferir o número dos seus pés. Durante a Revolução Industrial, os países europeus decidiram padronizar o tamanho do grão e o transformaram em uma unidade métrica chamada ponto.

O tamanho desse ponto varia de um lugar para outro e é por isso que a numeração muda de acordo com o local. Os Estados Unidos usam o ponto inglês, enquanto o Brasil e parte da Europa usam o ponto francês, que mede 0,666 centímetro. Ainda assim, há variações entre países que usam a mesma medida. Alguns, como a Itália, utilizam o meio ponto, ampliando a grade de numeração.

DOLORES, Maria. De grão em grão – como se mede o número de sapato?. *Superinteressante*, São Paulo, n. 203, ago. 2004. Disponível em: <http://super.abril.com.br/comportamento/como-se-mede-o-numero-de-sapato>. Acesso em: jul. 2015.

No Brasil comprimento do pé de uma pessoa que calça sapatos número 42 é 28 cm:

$$\frac{n}{1,5} \Rightarrow \frac{42}{1,5} = 28 \Rightarrow \text{(comprimento do pé)} = 28 \text{ cm}$$

a) Explique o fator 1,5.

b) Solicite a cada aluno que meça o comprimento do pé (descalço) com uma régua comum e compare com o número do sapato utilizado. Justifique.

Atividades complementares

Você poderá utilizar as questões seguintes como avaliação individual ou como um trabalho extraclasse em equipe. Em qualquer dos casos, sugerimos que os alunos tenham acesso às tabelas apresentadas nos tópicos 2.3, 2.4 e 2.5 do Livro do Aluno.

1. (UFU-MG) Na história da humanidade, nem sempre houve consensos sobre os padrões de medida a serem usados. Antes da instituição do Sistema Internacional de Unidades (SI), medidas de comprimento, por exemplo, podiam ser expressas a partir das partes do corpo do rei de cada país, o que acarretava, entre outras coisas, conflitos em transações comerciais.
Assinale V (verdadeiro) ou F (falso) nas afirmativas abaixo.

I. O SI considera o metro (m) como unidade de medida de comprimento padrão, em contraposição a outras unidades de medida, como a milha (mi), o pé (ft) e a polegada (in).

II. No SI, a unidade de medida padrão de força é o newton (N), sendo $1\ N = 1\ m \cdot kg/s^2$.

III. A hora (h), tomada como $\frac{1}{24}$ do dia, é considerada a unidade de medida de tempo padrão no SI.

IV. No SI, a energia é medida em joule (J), sendo $1\ J = 1\ N \cdot m$.

Respostas:

I. Verdadeiro. A milha, o pé e a polegada são unidades de medida de comprimento utilizadas principalmente nos Estados Unidos.

II. Verdadeiro. De acordo com a tabela 2.2.

III. Falso. No SI, a unidade de tempo é o segundo (s).

IV. Verdadeiro. De acordo com a tabela 2.2.

2. (UEA-AM) Fundamentado no corpo humano, como muitos outros padrões de medida linear, o côvado baseava-se no comprimento do braço, desde o cotovelo até a ponta do dedo. O côvado era subdividido em 28 dígitos, sendo o dígito relacionado à largura do dedo. Suponha que um bloco de 50,4 cm fosse medido como sendo 1 côvado e subdividido em 28 dígitos. Em unidades do Sistema Internacional, cada 1 dígito equivale a:

a) $1,8 \cdot 10^{-2}$. c) 1,8. e) $1,8 \cdot 10^{2}$.

b) $1,8 \cdot 10^{-1}$. d) $1,8 \cdot 10^{1}$.

Resposta: alternativa **a**.

$$1 \text{ dígito} = \frac{50,4 \text{ cm}}{28} = 1,8 \text{ cm}$$

No Sistema Internacional, temos: $1 \text{ dígito} = 1,8 \cdot 10^{-2}$ m.

3. (Unemat-MT) O sistema internacional de unidades e medidas (SI) utiliza vários prefixos associados a unidade-base. Esses prefixos indicam os múltiplos decimais que são maiores ou menores do que a unidade-base.
Marque a alternativa que contém a representação numérica dos prefixos **micro**, **nano**, **deci** e **centi**, nessa mesma ordem de apresentação.

a) $10^{-9} \to 10^{-12} \to 10^{-1} \to 10^{-2}$

b) $10^{6} \to 10^{-9} \to 10 \to 10^{2}$

c) $10^{-6} \to 10^{-12} \to 10^{-1} \to 10^{-2}$

d) $10^{-3} \to 10^{-12} \to 10^{-1} \to 10^{-2}$

e) $10^{-6} \to 10^{-9} \to 10^{-1} \to 10^{-2}$

Resposta: alternativa **e**.

De acordo com a tabela 2.3.

4. (FEI-SP) Uma piscina de 20 m de comprimento, 12 m de largura e 2 m de profundidade, está completamente cheia de água. Sabendo-se que 20 gotas de água ocupam, aproximadamente, 1 cm^3, a ordem de grandeza do número de gotas existente na piscina é:

a) 10^{7}. b) 10^{8}. c) 10^{9}. d) 10^{10}. e) 10^{11}.

Resposta: alternativa **d**.

O volume de água na piscina é:

$V = c \cdot l \cdot p \Rightarrow V = 20 \cdot 12 \cdot 2 \Rightarrow V = 480\ m^3 = 4,8 \cdot 10^{8}\ cm^3$

O número de gotas é dado por:

$$\begin{array}{l} 20 \text{ gotas} \quad \text{——} \quad 1\ cm^3 \\ \quad x \quad \text{——} \quad 4,8 \cdot 10^{8}\ cm^3 \end{array} \Rightarrow$$

$\Rightarrow x = 9,6 \cdot 10^{9}$ gotas.

Portanto, a ordem de grandeza é 10^{10} gotas.

Resoluções dos exercícios

1 Embora a questão se refira às escalas Celsius e Fahrenheit, não se trata de uma questão sobre escalas termométricas. Os objetivos da questão são:

1. conhecer as unidades e as relações entre as unidades (°C e °F) de uma mesma grandeza (temperatura) para fazer traduções entre elas e utilizá-las adequadamente.
2. Ressaltar que a falta da unidade na grandeza pode levar a uma conclusão totalmente errada.

a) Como não está especificada a unidade, não é possível avaliar se o clima estará quente ou frio.

b) Se a temperatura média for 41 graus **Celsius**, o brasileiro vai encontrar nos Estados Unidos um clima quente; e, se a temperatura média for 41 graus **Fahrenheit**, o brasileiro vai encontrar um clima frio, pois 41 °F = 5 °C.

2 A questão envolve alguns cálculos numéricos. Particularmente, não somos favoráveis à utilização de calculadoras em sala de aula. Acreditamos que os alunos devem ser estimulados a efetuar os cálculos para que, com isso, aprendam gradativamente a interpretar os resultados obtidos.

Se uma polegada equivale a 25,4 milímetros, então o diâmetro da porca, que é de $\frac{5}{16}$ de polegada, em milímetros, é:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ pol} \quad \text{——} \quad 25{,}4 \text{ mm} \\ \frac{5}{16} \text{ pol} \quad \text{——} \quad 1x \end{array} \Rightarrow x = 7{,}9 \text{ mm}$$

Como o mecânico optou por uma chave de 8 mm, **sua escolha está correta**.

3 Nesta questão, procuramos desenvolver a habilidade de leitura e interpretação de texto. Analisando cada alternativa, temos:

a) Incorreta. De acordo com o texto, o governo quase sempre se incumbia de estabelecer e manter em vigor um sistema padronizado de pesos e medidas, mas a criação dessas unidades de medida é atribuída aos comerciantes.

b) **Correta**.

c) Incorreta. Foi o comércio entre os povos que deu origem à necessidade da adoção de um sistema de pesos e medidas.

d) Incorreta (ver comentário relativo ao item **c**).

4 a) Em notação científica, temos a tabela:

País	**População** (habitantes)	**Área** (km^2)
Brasil	$2{,}020 \cdot 10^8$	$8{,}5 \cdot 10^6$
China	$1{,}393 \cdot 10^9$	$9{,}6 \cdot 10^6$
Cingapura	$5{,}517 \cdot 10^6$	$7{,}10 \cdot 10^2$

b) A densidade demográfica ($d_{dem.}$) é obtida quando dividimos o número de habitantes de cada país pela sua área total em km^2. Assim:

Brasil: $d_{dem.} = \frac{2{,}020 \cdot 10^8}{8{,}5 \cdot 10^6} = 23{,}8$ hab./km^2

China: $d_{dem.} = \frac{1{,}393 \cdot 10^9}{9{,}6 \cdot 10^6} = 145$ hab./km^2

Cingapura: $d_{dem.} = \frac{5{,}517 \cdot 10^6}{7{,}1 \cdot 10^2} = 7\,770$ hab./km^2

Comparando os três resultados, verificamos que **Cingapura** é o país da tabela que possui a maior densidade demográfica, embora seja o de menor área.

c) Trata-se de uma questão interdisciplinar. Sugerimos que você oriente seus alunos em uma pesquisa com o professor de Geografia sobre as implicações de uma alta (baixa) densidade demográfica em relação ao meio ambiente e em relação à disponibilidade de recursos naturais e/ou a capacidade de infraestrutura instalada. Não podemos esquecer que um crescimento desordenado pode acarretar redução de áreas verdes, desmatamentos de matas ciliares, assoreamento de rios, entre outros, que certamente contribuem para a redução da qualidade de vida. Solicite de cada aluno um relatório com os resultados da pesquisa.

5 Para as operações de adição e subtração, devemos ter as parcelas na mesma potência de 10. Portanto:

$P_{rest.} = P_{mundial} - P_{Europa} \Rightarrow P_{rest.} = 7{,}3 \cdot 10^9 - 7{,}43 \cdot 10^8 \Rightarrow$
$\Rightarrow P_{rest.} = 7{,}3 \cdot 10^9 - 0{,}743 \cdot 10^9 \Rightarrow \boldsymbol{P_{rest.} = 6{,}56 \cdot 10^9}$ **hab**.

A população do restante do mundo é 6,56 bilhões de habitantes.

6 Sendo a meta de produção igual a 2,1 milhões de barris ($2{,}1 \cdot 10^6$) por dia, então em 1 mês (30 dias) a produção será de:

Prod. $= 30 \cdot 2{,}1 \cdot 10^6 \Rightarrow$ Prod. $= 6{,}3 \cdot 10^7$ barris.

7 Nesta questão, procuramos desenvolver a habilidade de *reconhecer e saber utilizar símbolos, códigos e nomenclaturas de grandezas físicas*. Para isso, os alunos precisam analisar cada uma das frases dadas e verificar quais delas estão escritas de acordo com as regras oficiais e internacionais. Sugerimos que essas regras estejam à disposição dos alunos sempre que for necessário. Nas frases apresentadas, temos:

I. Incorreta. O correto é 50 N e não "50 n".

II. **Correta**.

III. Incorreta. O correto é 2,5 ampères.

8 Sendo $F_{ar} = k \cdot v^2$, obtemos: $k = \frac{F_{ar}}{v^2}$. Em unidades de base do SI, escrevemos:

$$k = \frac{kg \cdot m \cdot s^{-2}}{(m \cdot s^{-1})^2} \Rightarrow k = \frac{kg}{m}$$

Resposta: alternativa **b**.

9 a) Como a escala é a mesma para todos os alunos, os resultados serão os mesmos: o terreno será representado por um retângulo com 10 cm de frente por 25 cm de fundo. E, de acordo com os recuos exigidos, a área útil do terreno para construção da casa será representada por um retângulo com 7,0 cm de frente (recuo de 1,5 cm em cada lateral) por 19 cm de fundo (recuo de 4 cm na frente e 2 cm no fundo).

b) A área máxima da casa será igual a:

$A_{máx.} = 7{,}0 \cdot 19 = 133$ cm^2

Sendo a escala 1:100, 1,0 cm^2 de área na planta baixa corresponde a 1,0 m^2 no tamanho real. Portanto, a área máxima da casa será **133 m^2**.

c) Como a área do terreno é 250 m^2 e a área máxima da casa é 133 m^2, a porcentagem da área do terreno que poderá ser utilizada para a construção é:

$\frac{133 \text{ m}^2}{250 \text{ m}^2} \cdot 100\% =$ **53,2%**

10 O professor pode aproveitar esta questão e discutir a importância da água no planeta. Em primeiro lugar, devemos lembrar que, com o ar, a água é um dos nossos bens mais preciosos e não deve ser desperdiçada. É importante destacar o conceito de desenvolvimento sustentável, introduzido por Lester Brown, fundador do *Worldwatch Institute*, na década de 1980, como "aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender às próprias necessidades".

Em segundo lugar, será útil destacar que o preço do metro cúbico de água varia de acordo com a quantidade utilizada. Professor, verifique se na sua cidade, a cobrança do consumo

de água é feita dessa forma. Assim, por exemplo, uma economia de 10% no consumo de água pode representar uma economia acima de 10% no valor a ser pago. A questão foi elaborada para salientar esse fato.

No *site* da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, disponível em: <www.sabesp.com.br> (acesso em: mar. 2016), encontramos informações úteis para um trabalho na área de responsabilidade social relacionado às formas de economizar água sem prejudicar a saúde nem a higiene. De acordo com a Organização das Nações Unidas, "cada pessoa necessita de 3,3 m^3/mês (cerca de 110 litros de água por dia) para atender as necessidades de consumo e higiene. No entanto, no Brasil, o consumo por pessoa pode chegar a mais de 200 litros/dia. Gastar mais de 120 litros de água por dia é jogar dinheiro fora e desperdiçar nossos recursos naturais" (Disponível em: <www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenoticia.php?id=217332>. Acesso em: maio 2016).

a) De acordo com as figuras dadas, as leituras dos medidores do consumo de água apresentam uma diferença de 27 m^3, ou seja, o consumo mensal dessa residência foi de 27 m^3. Como o preço do m^3 é variável, temos, para um total de 27 m^3:

$10\ m^3 \cdot R\$\ 0{,}40 = R\$\ 4{,}00$

$5\ m^3 \cdot R\$\ 0{,}68 = R\$\ 3{,}40$

$10\ m^3 \cdot R\$\ 1{,}47 = R\$\ 14{,}70$

$2\ m^3 \cdot R\$\ 1{,}91 = R\$\ 3{,}82$

Portanto, o custo da água consumida é:

$R\$\ 4{,}00 + R\$\ 3{,}40 + R\$\ 14{,}70 + R\$\ 3{,}82 =$ **R$ 25,92**

b) Considerando uma economia de 10% no consumo de água, o consumo passa a ser:

$C = 90\% \cdot 27 = 24{,}3\ m^3$

Neste caso, o valor a ser pago será de:

$10\ m^3 \cdot R\$\ 0{,}40 = R\$\ 4{,}00$

$5\ m^3 \cdot R\$\ 0{,}68 = R\$\ 3{,}40$

$9{,}3\ m^3 \cdot R\$\ 1{,}47 = R\$\ 13{,}67$

O preço da água consumida será:

$R\$\ 4{,}00 + R\$\ 3{,}40 + R\$\ 13{,}67 =$ **R$ 21,07**

Isso corresponde a economia de: $R\$\ 25{,}92 - R\$\ 21{,}07 =$ **R$ 4,85**

Essa economia de R$ 4,85 corresponde a 18,7% da conta original.

11 De acordo com o texto, 1 mm chuva corresponde a 1 L/m^2 de água. Assim, o volume de água para 1 km^2 ($1 \cdot 10^6\ m^2$) é dado por:

$$V = 1\frac{L}{m^2} \cdot (1 \cdot 10^6)m^2 \Rightarrow V = 1 \cdot 10^6\ L$$

Como a precipitação de chuva naquela tempestade foi de 114 mm ($1{,}14 \cdot 10^2$), temos uma ordem de grandeza de $10^6 \cdot 10^2 = 10^8$. **Resposta:** alternativa **d**.

12 Como efetuar uma subtração entre dois instantes de tempo expressos em horas e minutos, no caso, 11h05min e 9h15min? Como proceder para efetuar a subtração dos minutos sem que o resultado seja negativo?

Os alunos devem ser orientados para que reescrevam a 1ª parcela, lembrando que 1 h = 60 min. Desse modo, teremos:

11 h 05 min = 10 h 65 min. Portanto:

10 h 65 min − 9 h 15 min = **1 h 50 min** (tempo de duração da corrida).

13 Antes da resolução, que envolve transformações de unidades, sugerimos comentar o significado da unidade **ano-luz**. Trata-se de uma unidade de distância (comprimento): 1 ano-luz é a distância percorrida pela luz em 1 ano. Levando em conta que o enunciado da questão pede para que se considere 1 ano-luz = 10^{13} km, dois comentários podem ser feitos:

1) trata-se de um valor aproximado, diferente daquele apresentado no tópico 4 (1 ano-luz = $9{,}6 \cdot 10^{12}$ km);

2) mostrar como obter esse valor por meio das unidades, considerando a velocidade da luz 300 000 km/s (ou $3 \cdot 10^5$ km/s) e utilizando a tabela 8, na qual encontramos que 1 ano corresponde a $3{,}2 \cdot 10^7$ s. Assim, obtemos:

1 ano-luz = $3 \cdot 10^5$ km/s $\cdot\ 3{,}2 \cdot 10^7$ s = $9{,}6 \cdot 10^{12}$ km

Em seguida, você pode apresentar alguns dados astronômicos, utilizando a unidade ano-luz. Por exemplo, o Sol – estrela mais próxima da Terra – encontra-se a uma distância de (8 min 20 s)-luz. Isso significa que a luz demora 8 minutos e 20 segundos para vir do Sol à Terra. A segunda estrela mais próxima da Terra é *alfa-centauri*, que se encontra a cerca de 4 anos-luz – ou seja, a luz dessa estrela leva aproximadamente 4 anos para chegar à Terra.

Outra unidade mencionada na questão é o **parsec**, que equivale a 3,26 anos-luz. Usando 1 ano-luz = 10^{13} km, obtemos:

1 parsec = 3,26 anos-luz = $3{,}26 \cdot 10^{13}$ km = $3{,}26 \cdot 10^{13}$ km

a) A estrela encontra-se a 10 parsecs de distância da Terra. Em quilômetros, obtemos:

d = 10 parsecs = $10 \cdot 3{,}26 \cdot 10^{13}$ km = **$3{,}26 \cdot 10^{14}$ km**

b) Sendo 10 parsecs = 32,6 anos-luz, a luz demora **32,6 anos** para vir dessa estrela à Terra.

14 a) De acordo com o texto, quilo significa mil. Então, 1 kg = 1000 g. Em potência de 10, temos: 1 kg = 10^3 g.

b) Se 1 kg = 1000 g, então, a massa de um objeto de 800 g é igual a 0,8 kg.

c) No artigo "Almanaque do IPEM-SP", o aluno encontrará dados interessantes sobre as origens dos nomes das unidades de medir: metro, segundo, candela, mol, kelvin e ampère.

15 Em cada residência, temos 4 pessoas. Como a cidade possui 60 000 habitantes, o número de residências na cidade é 60 000 ÷ 4 = 15 000. Sendo que cada residência consome, por mês, 120 kWh, então, o consumo em 1 ano (12 meses) é dado por:

$C = 15\,000 \cdot 120 \cdot 12 \Rightarrow C = 2{,}16 \cdot 10^7$ kWh.

Portanto, a ordem de grandeza do consumo anual é: **10^7**.

16 A distância percorrida (d) em cada volta do pneu é igual ao comprimento da circunferência do pneu ($C = \pi \cdot D$), em que D é o diâmetro do pneu. Assim, temos:

$d = C = \pi \cdot D = 3 \cdot 0{,}60 = 1{,}8$ m

Se o carro percorre 360 km (360 000 m), então, o número de voltas de cada pneu é:

$$n = \frac{360\,000}{1{,}8} = 200\,000 \text{ voltas} = 2 \cdot 10^5 \text{ voltas}$$

A ordem de grandeza do número estimado de voltas é **10^5**.

17 De acordo com o enunciado da questão, as bactérias têm um formato cúbico com 1 μm (ou 10^{-6} m) de aresta (a). Nessas condições, o volume de uma bactéria é:

$V = a^3 = (10^{-6})^3 = 10^{-18}$ m^3

Sendo 1 L $= 10^{-3}$ m^3, então, o número de bactérias que cabe em 1 litro é:

1 bactéria —— 10^{-18} m^3
x —— 10^{-3} m^3 $\Rightarrow x = 10^{15}$ bactérias

A ordem de grandeza do número de bactérias é **10^{15}**.

Retomando

18 Para esta questão, precisamos recorrer à tabela 2.2 do texto. Nela encontramos que a grandeza energia expressa em unidades SI de base é: m^2 · kg · s^{-2}. No sistema JACU, a unidade de comprimento é tchirim, de massa é cadjiquim, e de tempo, minutim. Substituindo as correspondentes unidades do sistema JACU na expressão da energia, obtemos:

(tchirim)^2 · cadjiquim · (minutim)$^{-2}$

Resposta: alternativa **c**.

19 Na conta de energia elétrica, popularmente conhecida como "conta de luz", o valor a ser pago é igual ao consumo multiplicado por um fator fixo. Na conta apresentada, o consumo foi de 401 kWh. Se dobrarmos esse valor, o valor a ser pago será o dobro do anterior, ou seja, R$ 106,46.

Resposta: alternativa **b**.

20 Na conta da água, existe uma tarifa mínima e diferentes faixas de tarifação. Na conta apresentada na questão, o consumo de água foi de 17 m^3. Se dobrarmos esse valor, teremos um consumo de 34 m^3, cujo valor em reais será:

Faixa de consumo (m^3)	**Tarifa** (R$/m^3)	**Consumo** (m^3)	**Valor** (R$)
0 — 10	Mínima (fixa)	10	5,50
11 — 20	0,85	10	8,50
21 — 30	2,13	10	21,30
31 — 50	2,13	4	8,52
Totais		**34 m^3**	**R$ 43,82**

Resposta: alternativa **c**.

21 De acordo com o gráfico, para uma pressão estática de 6 mca, a vazão correspondente é 12 L/min. Portanto, para 1 mês (30 dias), o intervalo de tempo total (t_T) de utilização da ducha, pelas 4 pessoas, com duração de 8 min cada, é:

$t_T = 30 \cdot 4 \cdot 8 \Rightarrow t_T = 960$ min.

E o volume (V) de água correspondente à vazão de 12 L/min em 960 min é:

$V = 12 \cdot 960 \Rightarrow V = 11520$ L

Resposta: alternativa **c**.

22 Nesta questão, procuramos desenvolver a habilidade do aluno de *ler e interpretar informações em diferentes linguagens e representações técnicas*. É comum uma pessoa comprar um caderno visando somente o preço, sem se importar com a gramatura do papel. Com base no texto apresentado, temos:

I. **Correta.** Cadernos com mesmo número de folhas, mas com gramaturas diferentes, têm preços diferentes.

II. **Correta.** Folhas com gramatura alta são mais resistentes ao uso da borracha do que outras com gramatura baixa.

III. **Correta.** Folhas com gramatura baixa são mais transparentes do que outras com maior gramatura.

Resposta: alternativa **e**.

UNIDADE 2 – O estudo dos movimentos

CAPÍTULO 3 – Movimentos em uma dimensão

No texto a seguir, que denominamos *A ciência das pegadas*, utilizamos um trecho de autoria de Carl Sagan (1934-1997), ex-professor de Astronomia e Ciências Espaciais da Universidade de Cornell, nos Estados Unidos. No livro *O mundo assombrado pelos demônios*: a ciência vista como uma vela no escuro, Carl Sagan nos relata um pouco da história de um povo quase extinto – os !Kung – que vive no deserto de Calaari. Com isso, propomos o desenvolvimento da habilidade de análise e interpretação de textos relativos à ciência.

> [...] O pequeno grupo de caça segue a pista dos cascos e o rasto de outros animais. Param por um momento perto de um grupo de árvores. Acocorados sobre os calcanhares, eles examinam a evidência com muito cuidado. Rapidamente se põem de acordo sobre os animais responsáveis pelos rastos, quantos são, de que idade e sexo, se há algum machucado, a velocidade com que estão se deslocando, há quanto tempo passaram por ali, se há outros caçadores em sua perseguição, se o grupo pode alcançar a caça e, em caso positivo, quanto tempo isso levará. Quase sempre leram corretamente a mensagem no solo. Os gnus, antílopes ou ocapis estão onde eles imaginaram, nas quantidades e nas condições estimadas. A caçada é um sucesso.
>
> SAGAN, Carl. *O mundo assombrado pelos demônios*: a ciência vista como uma vela no escuro. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. p. 304.

Normalmente, as pessoas são levadas a pensar que só cientistas fazem ciência em seus laboratórios. Mas podemos dizer que os !Kung praticam ciência diariamente: a "ciência das pegadas", na qual apoia a sobrevivência do povo. Nesse aspecto, você pode mostrar a semelhança entre a ciência escondida nas pegadas dos animais e a ciência praticada pelos astrônomos, que seguem as "pegadas" dos astros no céu, ou aqueles que simplesmente analisam a trajetória de um móvel.

Neste capítulo, apresentamos situações-problema que requerem o início do desenvolvimento de estratégias para enfrentá-las, incluindo medidas e quantificações de grandezas.

Sugerimos que você inicie perguntando sobre meios de transporte que os estudantes utilizam, tentando fazê-los se expressar sobre as questões:

- Se um ônibus se movimenta em linha reta, com o velocímetro marcando o mesmo número, há desconforto para os passageiros?
- Se a estrada tem muitas curvas, qual o efeito sobre os passageiros?

- Se há muito tráfego e o motorista é obrigado a acelerar e frear com frequência, qual o efeito sobre os passageiros?

Com base na discussão, sugerimos que você mostre a importância de estudar os movimentos e de estabelecer relações numéricas entre as grandezas.

Nos tópicos que compõem o capítulo, procuramos contar a história dos movimentos, provavelmente um dos primeiros fenômenos a chamar a atenção do ser humano. Do mesmo modo como procedemos no capítulo anterior, procuramos partir de uma situação cotidiana, ou de um contexto histórico, para justificar a importância de seu estudo ou da evolução do conceito estudado.

1. Um pouco da história dos movimentos

No tópico apresentamos uma visão histórica sobre a evolução do estudo do movimento. Sugerimos uma leitura prévia dos alunos, com anotações no caderno dos pontos polêmicos ou duvidosos, para posterior debate em sala de aula. Esse debate é importante para que os alunos percebam a evolução do conceito de movimento, desde os primórdios até os dias atuais.

O ser humano não esconde sua fascinação pelos fenômenos da Natureza. No início, a preocupação era basicamente com a subsistência e a sobrevivência. Posteriormente, os seres humanos buscaram melhorar sua qualidade de vida e, para isso, sentiram a necessidade de dominar determinados fenômenos e/ou reproduzi-los de modo controlado. Assim, as explicações dadas aos fenômenos evoluíram juntamente com a humanidade, como parte integrante da produção cultural de cada época.

Na Grécia do século IV a.C., devemos destacar a figura de Aristóteles, um filósofo que se preocupou em explicar os movimentos. Seus ensinamentos, que perduraram por mais de dois mil anos, não podem ser negligenciados: surge a *Physis* (ou Física), uma obra composta por 14 livros que discute a matéria, as leis do Universo e os movimentos, entre outros assuntos.

É importante destacarmos a participação das escolas parisienses e de Oxford, na Idade Média, para a explicação dos movimentos. Dependendo da disponibilidade de tempo, você poderá solicitar aos alunos uma pesquisa sobre as Ciências na Idade Média, com a orientação dos professores de História e/ou na internet. Sugerimos também uma visita ao *site* do Merton College, para conhecer um pouco mais da história dessa tradicional instituição de ensino. Disponível em: <www.merton.ox.ac.uk/index.shtml>. Acesso em: jul. 2015). Julgando interessante e desejando divulgá-lo para os alunos, sugerimos solicitar a participação do professor de Inglês, pois o conteúdo está em inglês.

Prosseguindo na apresentação dessa breve visão histórica da evolução do estudo dos movimentos, consideramos importante comentar os papéis de Copérnico, Kepler, Galileu e Newton na construção desse conhecimento. Nesse sentido, você pode solicitar aos alunos que apresentem um seminário, abordando os principais acontecimentos históricos do período em que esses pensadores e cientistas elaboraram suas teorias (séculos XVI e XVII). Para esse seminário, o professor de História da escola pode ser convidado como orientador. Para a dinâmica do processo, os alunos podem estar divididos em grupos, e cada grupo fará uma apresentação escrita e oral. Esse trabalho poderá ser incluído no processo de avaliação.

Para esse seminário, sugerimos, se for possível, que os alunos tenham acesso à obra do historiador de Ciências Colin A. Ronan, da qual apresentamos, a seguir, um pequeno trecho:

> Durante toda a história da ciência, houve muitas teorias revolucionárias acerca do mundo natural, diversas revisões dos paradigmas abraçados pelo homem para explicar o funcionamento do universo. Essas "revoluções científicas" diferiram em intensidade. Algumas delas, como as grandes revoluções que assistiram à introdução dos paradigmas matemáticos para descrever os movimentos dos planetas, inicialmente entre os babilônios e depois entre os gregos, alteraram significativamente a concepção que tínhamos do universo [...]. Mas a revolução que mudou a forma de encarar a natureza e que gerou a moderna concepção científica foi a que começou no século XV e se prolongou até o fim do século XVI. De fato, suas consequências foram tão grandes que, com toda a razão, muitas vezes a chamam "A Revolução Científica".
>
> Não foi a primeira nem será a última revolução da história da ciência.
>
> RONAN, Colin A. *História ilustrada da Ciência*, III – Da Renascença à Revolução Científica. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1997. p. 7.

Quando muitos julgavam que já se conhecia tudo a respeito dos movimentos, surge Albert Einstein (1879-1955), que, com a teoria da relatividade, mostrou uma nova maneira de encarar o espaço e o tempo. Essa teoria corrobora a ideia de que não temos nada pronto e acabado. À medida que a humanidade evolui, as explicações sobre os fenômenos também evoluem, e as formas como apresentaremos os movimentos ao longo deste capítulo refletem o momento que vivemos.

Ressaltamos, neste ponto, que este início se relaciona com o desenvolvimento da competência de estabelecer relações entre conhecimentos disciplinares, multidisciplinares e interáreas, além do posicionamento da ciência e tecnologia na história da humanidade.

2. Localização

Neste tópico, iniciamos o estudo dos movimentos propriamente dito. Sugerimos que você trate os elementos necessários para localizar o corpo em qualquer instante. Assim, um conceito fundamental associado aos movimentos é a localização.

Você pode salientar que a localização não está somente associada aos movimentos. A quantidade de informação com a qual convivemos hoje nos fornece um exemplo. Para armazená-las, dispomos de artefatos tecnológicos, tais como telefones celulares e computadores.

Mas não basta ter as informações armazenadas; é preciso criar mecanismos para que elas estejam disponíveis a qualquer instante. Em outras palavras, precisamos de mecanismos para localizar as informações com a maior rapidez possível, como acontece quando salvamos um arquivo em determinada pasta – um local virtual, nomeado de modo a facilitar o acesso – em um computador.

No Livro do Aluno, você encontra outros exemplos que podemos utilizar para destacar a importância da localização. Entre eles, devemos destacar aqueles que dizem respeito aos movimentos: o movimento aparente do Sol e das estrelas, os pontos cardeais, a bússola, a identificação e a localização dos marcos quilométricos nas rodovias.

O objetivo fundamental no estudo de um movimento é a obtenção da função horária do espaço. Com ela, podemos localizar o móvel – ou prever sua localização futura – em qualquer instante do movimento.

Finalizando a primeira parte deste tópico, apresentamos os conceitos de ponto material e de referencial. Quanto à noção de ponto material, julgamos não ser necessário que o professor se estenda, pois, normalmente, os alunos percebem com relativa facilidade em quais situações devemos levar em conta as dimensões de um veículo e em quais situações elas podem ser desprezadas. Por outro lado, o conceito de referencial deve ser trabalhado com vários exemplos.

Física explica

Apresentamos um texto sobre o Sistema de Posicionamento Global (GPS – *Global Positioning System*) que pode ser discutido por você e os alunos como um exemplo de localização. A seguir, apresentamos possíveis respostas para as questões que formulamos para explorar esse texto no Livro do Aluno.

1. Segundo o texto, a principal vantagem na utilização de um GPS para a localização de um corpo na Terra é o fato de os satélites possibilitarem a determinação de posições precisas, em três dimensões, ininterruptamente.
2. Como a questão pede a opinião do aluno, toda resposta pode ser considerada, desde que se mostre efetivamente conectada com a realidade. O emprego do GPS no combate ao roubo de cargas e de veículos, por exemplo, é hoje bastante conhecido. O fato de um veículo estar equipado com um GPS facilita sua localização e, portanto, sua recuperação, em caso de roubo.

3. Movimento, repouso e trajetória

Neste tópico, apresentamos as ideias de movimento e de repouso.

Para que você use como apoio, sugerimos, o texto a seguir.

O absoluto e o relativo

> [...] Imaginemos por exemplo que estamos no mar, a bordo de um barco, e observamos outro barco ultrapassando o nosso. Suponhamos também que estamos tão distantes da costa que tudo o que vemos é o outro barco. Considerando apenas os dados sensoriais, não temos nenhuma possibilidade de determinar se nosso barco está parado e o outro em movimento ou se, ao contrário, o outro está parado e o nosso para trás, à deriva. Nos dois casos, em um mar calmo, nosso barco parecerá imóvel sob nossos pés.
>
> [...] Essas interpretações, compatíveis com nossos dados sensoriais, significam que nossos sentidos são impotentes para determinar a situação real. Em outras palavras, os dados sensoriais nos revelam não nosso movimento real, mas unicamente nosso movimento em relação a outros corpos, no caso o segundo barco.
>
> Esta relação é simétrica: se um corpo é animado de um movimento relativo em relação a outro corpo, o segundo corpo é animado de um movimento relativo em relação ao primeiro, com uma velocidade igual, mas de sentido oposto.
>
> Retomando o exemplo, o segundo barco está em movimento relativo em relação ao nosso, e nós o vemos nos ultrapassar. Mas um observador situado no segundo barco vê o nosso passar em sentido inverso: nosso barco está de fato em movimento relativo em relação ao desse observador. Essa simetria, inerente ao movimento relativo, significa que é impossível determinar qual dos dois está realmente em movimento.
>
> O movimento aparente do Sol no céu significa não só que o Sol está em movimento relativo em relação à Terra, mas também que a Terra está em movimento relativo em relação ao Sol. É ilusório, portanto, perguntar qual dos dois, o Sol ou a Terra, está animado de um movimento absoluto.
>
> BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1996. p. 23.

Se dois carros movimentam-se lado a lado com a mesma velocidade, qual deles está em movimento:

a) em relação ao solo?

b) em relação ao outro?

Você pode aproveitar esse tópico para a observação do desenvolvimento das habilidades e competências relativas às relações e funções, bem como o hábito de trabalhar com invariantes e transformações.

Assim, você pode sugerir a leitura do texto e pedir que, em seguida, o exercício 6 seja resolvido por escrito por grupos de alunos, ajudando-os a desenvolver a habilidade de descrever fenômenos físicos.

Para essa questão, devemos utilizar os conceitos de movimento e repouso que apresentamos no texto: "Um móvel se encontra em movimento em relação a um determinado referencial quando ele muda de posição no decorrer do tempo. Se, durante um determinado intervalo de tempo, a sua posição permanece inalterada, ele está em repouso, para esse referencial".

Tomemos Heloísa como corpo de referência: para ela, a posição do passageiro sentado à sua frente permanece inalterada; portanto, ele está em repouso. Tomemos agora Abelardo como corpo de referência: para ele, a posição do passageiro muda no decorrer do tempo; portanto, o passageiro está em movimento.

Ambos (Heloísa e Abelardo) estão corretos, pois **os conceitos de movimento e de repouso são relativos**, isto é, dependem do corpo tomado como referência.

Encerramos o tópico com o conceito de trajetória, que se relaciona diretamente com a apresentação do capítulo – as estratégias de caça da comunidade !Kung centradas na análise observacional das trajetórias.

4. Espaço, deslocamento e velocidade

De modo geral, os movimentos de veículos nas rodovias podem ser classificados como movimentos unidimensionais. Para esses movimentos, um número, associado a uma unidade de medida, é suficiente para a localização do móvel. Quando dizemos que um ônibus está parado no quilômetro 70 de uma determinada rodovia, estamos fornecendo sua localização: ele encontra-se a 70 km do marco inicial (ou marco zero), ou seja, do ponto adotado como referencial dessa rodovia.

Nesse tópico, desenvolvemos a ideia de espaço. Sugerimos que você esclareça que esse termo, fora da Cinemática, apresenta diversos significados (indicamos que você diga para os alunos consultarem o dicionário). É importante frisar para os alunos que, no estudo dos movimentos, a palavra *espaço* assume um significado especial: trata-se da medida algébrica, ao longo de uma determinada trajetória, da distância entre o ponto onde o móvel se encontra e o ponto de referência adotado como origem – a origem dos espaços. Vale ressaltar que essa distância não representa o deslocamento nem a distância percorrida pelo móvel, bem como não se relaciona com o fato de o móvel estar ou não em movimento.

Para refletir

No deslocamento escalar, somente nos interessam as posições inicial e final do móvel, ou seja, não levamos em conta a trajetória do móvel entre esses dois pontos: $\Delta S = S_{final} - S_{inicial}$.

Por outro lado, para o cálculo da distância percorrida, devemos levar em conta a trajetória do móvel, considerando a soma de todos os deslocamentos efetuados pelo móvel, independentemente do sentido do movimento: $d.p. = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + ...$

Na sequência, apresentamos um conceito de extrema importância para o estudo dos movimentos: a **velocidade**. Na linguagem comum, o termo velocidade é usado muitas vezes para designar rapidez, ligeireza, brevidade. Como relatado no Livro do Aluno, a primeira ideia que fazemos da velocidade está associada à rapidez. Quanto maior é a velocidade de um carro, mais rápido ele se movimenta e, portanto, maior é a distância percorrida por ele num dado intervalo de tempo.

Nesse ponto, sugerimos salientar que a velocidade é bastante utilizada como meio para se localizar um móvel. Para isso, porém, é preciso associá-la ao deslocamento escalar e não à distância percorrida. Esse fato nos leva ao conceito de velocidade escalar média, que, em muitas situações, não coincide com a rapidez do móvel. Para que o aluno assimile essa diferença, sugerimos ao professor que desenvolva dois exemplos de cálculo de velocidade média: um em que não haja inversão no sentido do movimento e outro em que essa inversão ocorra.

Outro ponto a ser destacado é a importância e o significado dos valores algébricos da velocidade escalar média para os casos em que um carro se desloca na orientação da rodovia em sentido contrário.

É importante ressaltar, aqui, a dificuldade que os alunos apresentam para operacionalizar os conceitos aprendidos. Embora entendam os fenômenos envolvidos, matematizá-los não é imediato. É preciso ter paciência e fazer tantos exemplos quanto possível.

Sugerimos que você utilize o Exercício resolvido 1, que se encontra no Livro do Aluno, para destacar a importância dos valores algébricos da velocidade escalar para a localização de um móvel que se movimenta no sentido da orientação da trajetória ou no sentido contrário a essa orientação.

A competência de interpretar fenômenos físicos em descrições matemáticas faz parte de um conjunto de saberes preciosos a ser adquirido para o bom entendimento de fatos científicos que lhe serão apresentados neste estágio escolar.

5. Aceleração

Caso você considere adequado, este tópico pode ser iniciado questionando os alunos sobre o que realmente incomoda as pessoas: a velocidade ou as variações de velocidade?

Nessa oportunidade podemos dizer que um dos maiores problemas das altas velocidades aparece no momento em que precisamos reduzi-la. Nas placas indicativas de velocidade máxima, por exemplo, os valores indicam limites que foram estabelecidos de tal modo que, em uma situação emergencial, o motorista tenha condições de reduzir a velocidade sem graves consequências.

Essa é uma questão importante que pode ser usada como a Física se relaciona com o exercício da cidadania e com os cuidados relativos à vida, a serem tomados em uma sociedade que a cada dia desenvolve máquinas mais potentes.

Um ponto que merece atenção é o significado cotidiano da palavra aceleração; de modo geral, acelerar significa aumentar a velocidade, o que pode representar uma dificuldade para o bom entendimento dos conceitos, por parte do aluno. Sugerimos que seja mostrado ao aluno que esse conceito, na Física, é mais amplo: a aceleração é a variação da velocidade por unidade de tempo. Essa variação na velocidade pode ocorrer somente no valor numérico da velocidade (aumento ou diminuição), somente na direção da velocidade ou em ambos.

Na sequência, destacamos as diferenças entre a aceleração escalar média e a aceleração escalar instantânea e suas unidades.

Trabalho em equipe

a) De acordo com o gráfico, o início da redução da velocidade de 90 km/h (25 m/s) ocorreu no instante $t_1 = 10$ s, e o retorno à velocidade de 90 km/h ocorreu no instante $t_2 = 60$ s. Portanto, o intervalo de tempo correspondente é:
$\Delta t = t_2 - t_1 \Rightarrow \Delta t = 60 - 10 \Rightarrow \Delta t = 50$ s.

b) Entre os instantes 10 s e 20 s, a aceleração escalar média vale:
$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a_m = \frac{15-25}{20-10} \Rightarrow a_m = -1{,}0 \text{ m/s}^2$.
Entre os instantes 20 s e 60 s, a aceleração escalar média vale:
$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a_m = \frac{25-15}{60-20} \Rightarrow a_m = 0{,}25 \text{ m/s}^2$.
E entre os instantes 0 s e 80 s, a aceleração escalar média vale:
$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a_m = \frac{25-25}{80-0} \Rightarrow a_m = 0 \text{ m/s}^2$.

6. Movimento uniforme (MU)

Dos dois movimentos que serão estudados detalhadamente neste texto, o movimento uniforme e o movimento acelerado, normalmente os alunos assimilam com mais facilidade o movimento uniforme, porque os deslocamentos são proporcionais aos intervalos de tempo. Esse fato permite ao aluno aplicar a chamada regra de três: se um carro percorre 100 km em 1 hora, quanto percorrerá em 3 horas? A resposta é imediata: 300 km.

No Livro do Aluno, salientamos alguns exemplos cotidianos nos quais observamos um movimento uniforme. A maioria deles se refere a uma trajetória curvilínea, com exceção do movimento dos degraus de uma escada rolante.

Esse fato é importante para que o aluno perceba que, independentemente da trajetória, todos os movimentos uniformes são regidos por uma função horária do 1º grau. As características que diferenciam um movimento do outro são o espaço inicial e a velocidade do móvel.

Sugerimos que você não exija que o aluno deduza as equações. Entretanto, achamos interessante que faça o desenvolvimento, passo a passo, da função horária do movimento uniforme.

O Exercício resolvido 2 do Livro do Aluno apresenta uma aplicação interessante de dois móveis que se movimentam na mesma trajetória em movimento uniforme.

Aqui aparece uma dúvida habitual dos alunos, confundindo as linhas do gráfico com as trajetórias. Este é um ponto em que a competência de leitura de informações em diversas formas de linguagem deve ser desenvolvida. Sugerimos que você insista no fato de que as linhas do gráfico são representações de como o espaço varia no tempo.

Física explica

No texto apresentamos algumas ideias relativas aos cuidados com a direção. Essa é uma competência importante a ser desenvolvida para que o aluno relacione os conceitos da Física com um importante problema que aflige a sociedade moderna: os acidentes de trânsito e suas graves consequências.

Para trabalhar o texto, muito mais do que discutir a Física associada aos movimentos, devemos enfatizar o exercício da cidadania em obediência às leis de trânsito. Sugerimos ao professor que desenvolva um trabalho mais aprofundado abordando o número de acidentes de trânsito e vítimas fatais ao longo dos últimos anos. Um dos *sites* que podem ser consultados é o da Policia Rodoviária Federal (disponível em: <www.dprf.gov.br/PortalInternet/index.faces>. Acesso em: jul. 2015).

As duas perguntas propostas ao final do texto visam o desenvolvimento da capacidade de leitura e entendimento de um texto envolvendo relações entre cidadania e ciência e tecnologia. Apresentamos, a seguir, sugestões de respostas, enfatizando que você pode pedir que o aluno redija suas próprias respostas, analisando-as em um trabalho coletivo.

1. De acordo com o texto, a **distância de seguimento** é a distância segura que um motorista deve manter do carro que vai à sua frente, e o **tempo de reação** dos motoristas é o intervalo de tempo entre o pensar e o agir, isto é, o tempo médio para uma pessoa agir a partir do comando do cérebro.
2. Embora cada aluno possa apresentar uma opinião diferente, as respostas devem girar em torno do fato de que, embora todos digam estar conscientes dos perigos abordados nas campanhas, como o excesso de velocidade e outras formas de imprudência no trânsito, verifica-se um aumento no número de acidentes, principalmente em feriados prolongados.

7. Movimentos acelerados

Optamos por iniciar o estudo dos movimentos acelerados pela análise de uma situação familiar ao aluno, isto é, uma competição de atletismo de 100 m rasos. Assim, as competências relativas à interpretação de um fenômeno físico pelo uso de ferramentas matemáticas como gráficos e equações começam a ser familiares ao aluno.

Normalmente, quando assistimos a um evento desse tipo pela televisão, ficamos com a impressão de que a velocidade do atleta aumenta ao longo de todo o percurso. Na realidade, não é isso que acontece. A análise do gráfico nos mostra claramente em quais trechos a velocidade aumentou, em quais ela se manteve praticamente constante e em quais trechos diminuiu.

Assim como observamos no estudo do movimento uniforme, sugerimos que você não exija que os alunos saibam deduzir as equações. Entretanto, acreditamos que ao expô-las aos alunos dará segurança em relação às suas origens.

As deduções das funções horárias da velocidade e do espaço para o movimento variado uniformemente – ou movimento uniformemente variado, como é normalmente conhecido, podem ser feitas de maneira detalhada.

Para refletir

De acordo com a Matemática, a representação gráfica da função do 1º grau ($y = a \cdot x + b$) é uma reta e a representação gráfica da função do 2º grau ($y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$) é uma curva (parábola).

Portanto, sendo a função horária do MUV do 2º grau, o gráfico $S \times t$ é uma curva.

Equação de Torricelli

Devemos observar que, no Livro do Aluno, não apresentamos a equação de Torricelli ($v^2 = v_0^2 + 2a \cdot \Delta S$). Vale lembrar que o nosso objetivo é utilizar o menor número possível de fórmulas matemáticas, evitar os problemas do tipo "quebra-cabeça" e buscar o desenvolvimento do raciocínio do aluno em relação aos conceitos envolvidos nos exercícios.

Sabemos que, com as funções horárias da velocidade e do espaço, temos condições de resolver as situações cotidianas que envolvem o movimento uniformemente variado. No entanto, se você achar necessário (ou interessante) solicitar aos alunos que tentem deduzir a equação de Torricelli, como forma de exercício, apresentamos a seguir o desenvolvimento necessário.

Sendo $v = v_0 + at$, temos que $t = \frac{v - v_0}{a}$. Substituindo essa expressão na função horária do espaço, obtemos:

$$S = S_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \Rightarrow \Delta S = v_0 \cdot \left(\frac{v - v_0}{a}\right) + \frac{a}{2} \cdot \left(\frac{v - v_0}{a}\right)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta S = \frac{v_0 \cdot v - v_0^2}{a} + \frac{a}{2} \cdot \left(\frac{v^2 - 2v \cdot v_0 + v_0^2}{a}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2a \cdot \Delta S = 2v \cdot v_0 - 2v_0^2 + v^2 - 2v \cdot v_0 + v_0^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2a \cdot \Delta S = v^2 - v_0^2 \Rightarrow \boxed{v^2 = v_0^2 + 2a \cdot \Delta S}$$

8. Queda livre

Apresentamos, nesse tópico, os movimentos de queda livre e lançamento vertical. Sugerimos que você inicie o assunto com o experimento simples da folha de papel e do caderno, comentado no item **trabalho em equipe** do livro. Julgamos interessante que o professor questione os alunos sobre os resultados esperados antes de realizar cada etapa do experimento.

Em relação às equações matemáticas que serão utilizadas nesses movimentos, é preciso que os alunos entendam que não se trata de novas fórmulas, mas sim das mesmas utilizadas no movimento uniformemente variado, com a vantagem de que a aceleração do movimento é conhecida e igual para todos os corpos que se movimentam na vertical, independentemente de suas massas.

Essa é uma importante competência a ser desenvolvida: identificar situações físicas análogas e estabelecer para elas modelos similares, descritos por equações semelhantes.

No tópico anterior, poderíamos ter introduzido as proporções de Galileu, pois elas são válidas em todos os movimentos uniformemente variados. Optamos por deixar a apresentação para esse tópico, em virtude da associação histórica entre Galileu e a queda dos corpos. O professor poderá utilizar o Exercício resolvido 4 para mostrar a relação entre as proporções de Galileu e as equações matemáticas do movimento uniformemente variado.

Física tem História

No desenvolvimento do tema da seção procuramos desenvolver algumas competências como: formular uma questão física, escolher as grandezas a serem medidas, escolher os métodos de medição, principalmente mostrando que, em cada momento do desenvolvimento tecnológico, há um instrumento diferente e fatores limitantes de precisão nas medidas.

Lançamento vertical

No lançamento vertical, sugerimos uma revisão nos conceitos aristotélicos a respeito do movimento dos corpos leves e corpos pesados, para que os alunos façam comparações entre essas ideias e as conclusões de Galileu.

Um ponto que merece destaque, tanto na queda livre como no lançamento vertical, é a orientação da trajetória e a adoção de um referencial adequado para cada caso. Nesse sentido, sugerimos que o professor, após comentar o Exercício resolvido 5, mostre como seria a resolução se adotássemos um outro referencial, por exemplo, no ponto de lançamento e orientado positivamente para baixo.

Esse é um erro comum do aluno, achar que na subida o sinal da aceleração é negativo, e na descida, positivo. É de grande importância desenvolver a habilidade do aluno em atribuir os sinais das grandezas escalares corretamente, isto é, levando em conta o sentido do eixo escolhido como referência.

Vale destacar que não se trata apenas de procurar o meio mais fácil de resolver problemas desse tipo, mas sim de desenvolver nos alunos a habilidade de aplicar adequadamente recursos matemáticos para a análise de fenômenos observáveis.

Em construção

Neste capítulo, a nossa homenagem é para o físico italiano Galileu Galilei. Para nós, Galileu, juntamente com Newton e Einstein, forma a base que dá sustentação à Mecânica.

Trabalho em equipe

A respeito das dúvidas de pesquisadores sobre Galileu ter ou não realizado experiências na torre de Pisa, veja o trecho transcrito a seguir, de autoria de Pierre Thuillier, professor de Epistemologia e História das Ciências na Universidade de Paris:

> [...] Mas Alexandre Koyré, com especial vigor, manifesta dúvidas e reservas quanto ao interesse e mesmo quanto à realidade das experiências de Galileu. Em resumo, ele acha que há uma tendência exagerada a crer que este grande físico descobriu seus principais esquemas teóricos graças à observação e à experiência. A ideia do isocronismo do pêndulo, por exemplo, lhe teria ocorrido ao contemplar a oscilação de um lustre; ou, ainda, teria confirmado que todos os corpos graves caíam em queda livre com a mesma velocidade simplesmente deixando cair diversos objetos do alto da torre de Pisa. Lendas, afirmava Koyré.
>
> THUILLIER, Pierre. *De Arquimedes a Einstein* – A face oculta da invenção científica. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994. p. 121 e 123.

Professor, Alexandre Koyré (1892-1964) foi um filósofo francês que escreveu sobre História e Filosofia da Ciência. Dentre suas publicações traduzidas para o português, temos: *Do mundo fechado ao universo infinito*; *Considerações sobre Descartes*; *Estudos galilaico* e *Estudos de história do pensamento científico*.

Independentemente de Galileu ter ou não realizado esses experimentos, não se discute o mérito de seu trabalho, a sua dedicação à Ciência nem a sua obstinação pela verdade. Enfrentou a Inquisição, numa época que muitos perderam a vida por defender pontos de vista contrários aos interesses da Igreja, foi levado a julgamento, condenado à prisão domiciliar e obrigado a abjurar publicamente a fé que professava.

Da obra de Galileu, destacamos suas experiências com o plano inclinado, nas quais se apoiam as teorias sobre os movimentos variados.

Experimento

Nesta atividade – movimento em um plano inclinado – o professor deve estar ciente de que dificilmente os dados obtidos pelos alunos conduzirão a um movimento uniformemente acelerado, o que seria coerente com a teoria. Em virtude das dificuldades de obter valores que se ajustem à teoria, sugerimos apenas uma análise qualitativa dos dados obtidos, sem compromisso de obter a relação matemática entre o deslocamento da esfera e o tempo.

Procure orientar os alunos que, embora a análise seja somente qualitativa, é preciso evitar erros acidentais, acionando o cronômetro simultaneamente ao soltar a esfera e desligando o cronômetro exatamente no instante em que a esfera atinge a posição desejada. É interessante que eles pratiquem um pouco antes de anotar os resultados.

Sugerimos que, na segunda parte da atividade, o trilho seja dividido em, no mínimo, cinco partes. Essa divisão relaciona-se com a quantidade de pontos no gráfico. Com apenas dois pontos no gráfico, por exemplo, é impossível estabelecer a relação entre as grandezas; a tendência é unir os dois pontos por uma linha reta. Por outro lado, quanto menor a distância entre os pontos no trilho, mais difícil se torna a análise do movimento, pois os intervalos de tempo tendem a ficar próximos um do outro e os erros passam a comprometer seriamente as conclusões.

Em relação às questões propostas ao final da atividade, as questões 1 e 2 dizem respeito à massa da bolinha e o material da qual ela é feita. Os alunos não terão dúvida em constatar que essas variáveis não influem no tempo de queda ao longo do plano inclinado.

Na questão 3, devemos esperar que o tempo para a esfera percorrer 2,0 m seja menor do que o dobro do tempo gasto por ela para percorrer 1,0 m. Podemos explicar utilizando a velocidade média: a velocidade média na segunda metade é maior do que a velocidade média na primeira metade.

Para a questão 4, os dados devem indicar que as grandezas *distância percorrida* e *tempo* não são diretamente proporcionais, isto é, o quociente entre elas não é constante, ou seja, o movimento não é uniforme.

Atividades complementares

A seguir propomos algumas questões que podem ser utilizadas para avaliação ou para trabalhos em casa/classe.

1. Um automóvel executa um trajeto em duas etapas: na primeira metade desenvolve uma velocidade média de 60km/h, e na segunda metade, de 100 km/h. Qual é a velocidade média no percurso todo?

Resolução:

Na primeira metade: $\Delta S = 60(\Delta t)_1$; na segunda metade: $\Delta S = 100(\Delta t)_2$.

Para o percurso todo: $v_m = \dfrac{(2\Delta S)}{(\Delta t_1 + \Delta t_2)}$.

Reescrevendo a expressão da velocidade média:

$$v_m = \frac{2\Delta S}{\frac{\Delta S}{60} + \frac{\Delta S}{100}} \Rightarrow v_m = \frac{2(60 \cdot 100)}{60 + 100} = 75 \text{ km/h}$$

2. Antônio reside nas proximidades de uma carpintaria e escuta, durante todo o dia, as marteladas dadas pelos operários, para a construção dos móveis. Sendo a velocidade do som igual a 340 m/s e sabendo que as marteladas são ouvidas por Antônio 2,0 segundos após serem dadas, responda às questões.

a) Qual é a distância entre a carpintaria e a residência de Antônio?

b) Certo dia, Antônio percebeu uma parada abrupta das marteladas e, imediatamente, suspeitou de algum acidente. Correndo a 10 km/h, tentou alcançar a carpintaria para prestar auxílio. Em quanto tempo realizou o percurso?

Resolução:

a) $d = v \cdot \Delta t = 340 \cdot 2 = 680\text{m}$

b) $v = \dfrac{10}{3{,}6} = 2{,}78 \text{ m/s}$

$\Delta t = \dfrac{680}{2{,}78} = 244{,}6 \text{ s} = 4 \text{ min}$

3. Um carro de Fórmula 1 tem sua velocidade aumentada de 100 km/h para 260 km/h em 4 s. Qual sua aceleração média?

Resolução:

$a_m = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right) = \frac{260 - 100}{4} = 40$ (km/h)/s

Complementarmente, você pode incentivar o aluno a procurar revistas sobre carros e obter os valores de aceleração dos diversos modelos de automóveis.

4. A aceleração da gravidade, considerada igual a 10 m/s² é um valor grande em relação à aceleração de um Fórmula 1?

Resolução:

Essa pergunta visa dar ao aluno a ideia de ordem de grandeza dos valores de acelerações. Para isso, podemos assumir o cálculo feito anteriormente. Isto é:

Fórmula 1: 40 (km/h)/s $= \frac{40}{3{,}6}$ m/s² = 11,11 m/s².

Ou seja, a aceleração de um Fórmula 1 é praticamente igual à aceleração da gravidade.

Resoluções dos exercícios

1 Embora o texto seja suficiente para responder à questão, sugerimos a você alguns comentários sobre a concepção aristotélica do movimento.

> Para Aristóteles, os objetos inanimados possuem dois tipos de movimento: o natural e o violento (forçado). Na primeira categoria, encontramos o dos corpos mais pesados – como a pedra – dirigido para o centro da Terra; e o dos corpos leves – como a fumaça – dirigido para o alto. Se um corpo estiver fora do seu lugar natural, tende a voltar para ele, pois todos os corpos almejam o repouso. Quando se encontram em seu lugar natural, dele só podem ser retirados pela violência.
>
> SIMAAN, Arkan; FONTAINE, Joëlle. *A imagem do mundo:* dos babilônios a Newton. São Paulo: Companhia das Letras, 2003. p. 43.

Assim, para Aristóteles, o lugar natural de uma pedra é o solo. Então, ao ser jogada para cima (item **a**) ela se afasta do seu lugar natural e, portanto, o movimento é **forçado** (violento). Na descida (item **b**), a pedra dirige-se para o seu lugar natural; logo, o movimento é **natural**.

Nesse exercício desenvolve-se a competência de compreender modelos explicativos e representativos, bem como a compreensão do posicionamento do conhecimento científico na história.

2

Tempo (s)	**Velocidade** (m/s)
0	0
5	10
10	20
15	30

Na tabela, observamos que a velocidade varia quantidades iguais em tempos iguais, pois, para cada intervalo de tempo de 5,0 s, a variação de velocidade é sempre a mesma (10 m/s).

Neste exercício, a ideia é iniciar o aluno à familiarização dos símbolos, códigos e nomenclaturas utilizadas para representar um fenômeno físico.

3 I. Incorreta. Nicolau Copérnico, com seu livro *Das revoluções dos corpos celestes*, postulou o heliocentrismo: a Terra, com outros planetas, gira em torno do Sol.

II. Incorreta. Com o nascimento da Ciência moderna, no século XVII, a humanidade avançou muito na compreensão da mecânica do Universo, mas isso não quer dizer que todos os problemas ficaram resolvidos.

III. Incorreta. Em primeiro lugar, o texto não fornece subsídios para tal afirmação; em segundo lugar, a teoria da relatividade de Einstein trouxe novas perspectivas para o estudo do movimento, mas não substituiu a teoria de Newton.

> "[...] As leis do movimento e a lei do inverso do quadrado da gravitação, associadas ao nome de Isaac Newton, são apropriadamente classificadas entre as realizações mais sublimes da espécie humana. Trezentos anos mais tarde, usamos a dinâmica de Newton para predizer os eclipses. Anos depois de seu lançamento, a bilhões de quilômetros da Terra (apenas com correções diminutas feitas por Einstein), a nave espacial chega a um ponto predeterminado na órbita do mundo alvo, justamente quando esse mundo vem passando. A precisão é espantosa. Evidentemente, Newton sabia o que estava fazendo."
>
> SAGAN, Carl. *O mundo assombrado pelos demônios:* a ciência vista como uma vela no escuro. São Paulo: Companhia das Letras, 2001. p. 47.

IV. **Correta**. As teorias que temos hoje não estão prontas e acabadas. Elas explicam o momento atual que vivemos; a nossa visão do mundo. Segundo o físico Luiz Carlos de Menezes, em seu livro *A matéria* (São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005), o conhecimento sistematizado nas ciências se modifica com o ser humano e, como este, tem história.

Neste exercício, há várias habilidades e competências envolvidas: consultar, analisar e interpretar textos, analisar e sistematizar questões e fenômenos e, principalmente, analisar, argumentar e posicionar-se criticamente em relação à ciência e à tecnologia.

4 De acordo com a orientação dos pontos cardeais, o percurso de Brasília a Assunção ocorreu no sentido **sudoeste**; já o percurso de Assunção a La Paz ocorreu no sentido **noroeste** e o percurso final, de La Paz a Brasília, ocorreu no sentido **leste**. Nesse exercício, devemos trabalhar o desenvolvimento à multidisciplinaridade.

5 Lembrando que o Sol nasce a leste, os terrenos II, IV e V podem corresponder ao anúncio, ou seja, frente voltada para o Sol no período da manhã. Outro aspecto que devemos considerar no anúncio diz respeito à área do terreno (200 m²). Utilizando a escala mostrada na figura, concluímos que o único terreno que tem condições de satisfazer a essa condição é o número IV. **Resposta:** alternativa **d**.

6 Depende do referencial. Para Heloísa, que está dentro do ônibus em movimento, tanto o passageiro a sua frente como os demais estão em repouso, o que está fora do ônibus é que está em movimento. Ao passo que Abelardo, estando fora do ônibus, vê que o ônibus e os passageiros dentro do veículo estão em movimento.

7 Analisando as afirmativas, temos:

I. **Correta**.

II. Incorreta. A chave acompanha o movimento do barco; portanto, ela cai no pé do mastro.

III. Incorreta. Barco em movimento: trajetória parabólica.

8 Adotando como referencial a primeira gota à esquerda, temos que o deslocamento escalar vale:

$\Delta S = 15 + 15 + 15 + 14 + 12 + 10 + 8 + 6 \Rightarrow \Delta S = 95$ m

Sendo o intervalo de tempo entre duas gotas consecutivas igual a 1,0 s, o intervalo de tempo total é $\Delta t = 8{,}0$ s.

Assim, a velocidade escalar média do carro em todo o trajeto mostrado na figura vale: $v_m = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{95}{8{,}0} \Rightarrow v_m = 12$ m/s

9 O exercício é muito útil para o desenvolvimento de competências relativas a cálculos realizados em unidades diferentes. O professor pode optar por converter a velocidade de 100 km/h em $100 \cdot \frac{1000}{3\,600}$ m/s, isto é, 27,7 m/s. Assim, o tempo mínimo para percorrer os 1 000 m é: $\frac{1000}{27{,}7} = 36$ s e, portanto, o limite de velocidade foi excedido.

10 De acordo com a figura, no trajeto *ABC* a pessoa percorre uma distância de:

$\Delta S_{ABC} = 160 + 220 + 270 \Rightarrow \Delta S_{ABC} = 650$ m

Como ela caminha, em média, 100 metros por minuto, o tempo gasto no trajeto *ABC* é de:

$\Delta t = \frac{\Delta s}{v_m} = \frac{650 \text{ m}}{100 \text{ m/min}} \Rightarrow \Delta t = 6{,}5$ min

11 Para que um movimento apresente aceleração é preciso que haja uma variação na velocidade do móvel em um intervalo de tempo. Essa variação pode ser no módulo, na direção ou no sentido da velocidade. Assim, temos:

I. Esse movimento apresenta aceleração. Mesmo que a trajetória tenha sido retilínea em todo o percurso e que, tanto no trecho inicial como no trecho final, a velocidade tenha sido constante, houve uma parada de 30 minutos. Para o automóvel parar, sua velocidade precisou ser reduzida a zero.

II. Esse movimento também apresenta aceleração, pois a trajetória é circular e, nesse caso, mesmo que o módulo da velocidade tenha permanecido constante durante todo o percurso, há variação na direção e no sentido da velocidade.

III. Esse movimento não apresenta aceleração, pois trata-se de um movimento retilíneo e uniforme, isto é, a velocidade é constante em módulo, direção e sentido.

Nas questões seguintes (12 e 13), a competência de leitura de um gráfico pode ser desenvolvida.

12 Trata-se de uma questão cuja resposta é obtida diretamente, pela simples leitura do gráfico. A velocidade do corredor é aproximadamente constante no intervalo entre 5 s e 8 s.

Resposta: alternativa **c**.

13 Como a aceleração é a variação da velocidade em um intervalo de tempo, a aceleração é máxima quando temos a maior variação de velocidade no menor intervalo de tempo. Comparando os intervalos de tempo apresentados nas alternativas, concluímos que a maior aceleração ocorre no intervalo entre 0 e 1 s. **Resposta:** alternativa **a**.

14 Lembrando que 72 km/h é igual a 20 m/s, o módulo da aceleração escalar média, em m/s², é dado por:

$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{20 - 0}{2{,}0 - 0} \Rightarrow a_m = 10$ m/s²

Resposta: alternativa **a**.

Nessa questão, a transformação de unidades aparece, sendo uma competência a ser desenvolvida. Nossa sugestão é fazer a transformação da seguinte maneira:

$72 \text{ km/h} = 72 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3\,600 \text{ s}} = 20$ m/s

15 a) No primeiro trecho, temos $V_0 = 0$, $V = 1342{,}8$ km/h (373 m/s) e $a = 9{,}8$ m/s². Portanto, o intervalo de tempo correspondente vale:

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow 9{,}8 = \frac{373 - 0}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{373}{9{,}8} \Rightarrow \Delta t = 38{,}1$ s

b) De acordo com os dados da figura, o deslocamento escalar entre os pontos *A* e *D* vale:

$\Delta S_{AD} = 39{,}045 - 2{,}470 \Rightarrow \Delta S_{AD} = 36{,}575$ km

E o intervalo de tempo correspondente é: 4 min e 18 s (258 s). Assim, a velocidade média vale:

$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow v_m = \frac{36\,575 \text{ m}}{258 \text{ s}} \Rightarrow v_m = 141{,}8$ m/s (510,5 km/h)

16 Para esta questão, vamos admitir que o motorista manterá a velocidade do carro em 100 km/h até chegar ao posto de abastecimento. Assim, temos:

$\Delta S = v \cdot \Delta t \Rightarrow 20 = 100 \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = 0{,}2 \text{ h} = 12$ min

17 Como a velocidade do carro é constante e igual a 25 m/s, então, em 5,0 s, o carro percorreu a distância de:

$\Delta S = v \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta S = 25 \cdot 5{,}0 \Rightarrow \Delta S = 125$ m

Nesses 125 m, existem 10 árvores plantadas. Assim, a distância entre duas árvores consecutivas é:

$d = \frac{\Delta S}{n} \Rightarrow d = \frac{125}{10} \Rightarrow d = 12{,}5$ m

18 O tempo para baixar um arquivo de 3,6 MB a uma velocidade de 2,0 kB/s é:

$\Delta S = v \cdot \Delta t \Rightarrow 3{,}6 \text{ MB} = 2{,}0 \text{ kB/s} \cdot \Delta t \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta t = \frac{3{,}6 \cdot 10^6}{2{,}0 \cdot 10^3} \Rightarrow \Delta t = 1{,}8 \cdot 10^3 \text{ s} = 1800 \text{ s} = 30$ min

19 a) Observamos no gráfico que, enquanto o espaço do móvel *A* aumenta ($v_A > 0$), o espaço do móvel *B* diminui ($v_B < 0$). Portanto, os móveis se movimentam **em sentidos contrários**.

b) Quando os móveis se encontram, temos: $S_A = S_B$

No gráfico observamos que, no instante $t = 10$ s, os móveis apresentam o mesmo espaço, ou seja, 100 m. Portanto, eles se encontram no instante $t = 10$ s, no ponto localizado **a 100 m da origem**.

c) A velocidade de cada móvel é dada por: $v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$

$v_A = \frac{100 - 0}{10 - 0} \Rightarrow v_A = 10$ m/s

$v_B = \frac{0 - 150}{30 - 0} \Rightarrow v_B = -5$ m/s

20 a) Os atletas movimentam-se em **sentidos contrários**, pois a velocidade do atleta *A* é positiva e a do atleta *B* é negativa.

b) De acordo com o gráfico, temos:

- O deslocamento do atleta *A*, em 1 h, é 6 km (8 − 2). Portanto, sua velocidade é 6 km/h;
- O deslocamento do atleta *B*, em 2 h, é −6 km (−2 − 4). Nessas condições, sua velocidade é −3 km/h. Em módulo, 3 km/h.

O atleta *A* completaria a prova antes do atleta *B*, pois sua velocidade, em módulo, é maior.

21 Segundo o gráfico:

$$v_a = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} = \frac{250 - 0}{10 - 0} = 25 \text{ m/s}$$

$$v_b = \frac{S_2 - S_1}{t_2 - t_1} = \frac{212{,}5 - 25}{10 - 0} = 18{,}75 \text{ m/s}$$

Ultrapassagem por velocidade relativa, sendo as duas carretas no mesmo sentido: $v_r = 25 - 18{,}75 = 6{,}25$ m/s.

Sendo ΔS a soma do comprimento das duas carretas, tem-se:

$$v_r = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta S}{v_r} = \frac{50}{6{,}25} = 8{,}0 \text{ s}$$

Resposta: alternativa **d**.

22 a) De acordo com os dados da tabela, no intervalo de tempo de 0 s a 6 s, o valor da velocidade da partícula aumenta de 0 m/s a 12 m/s. Isso significa que, nesse intervalo, o movimento é acelerado. No intervalo de tempo de 6 s a 10 s, a velocidade da partícula permanece constante (movimento uniforme) e, no intervalo de tempo de 10 s a 16 s, o valor da velocidade da partícula diminui (movimento retardado).

No intervalo de tempo de 0 s a 6 s, o aumento no valor da velocidade é uniforme, ou seja, o aumento é de 4 m/s a cada intervalo de 2 s. Essa variação caracteriza um movimento acelerado uniformemente. Já no intervalo de 10 s a 16 s, a redução no valor da velocidade não é uniforme, ou seja, o movimento é retardado, mas não uniformemente. Portanto:

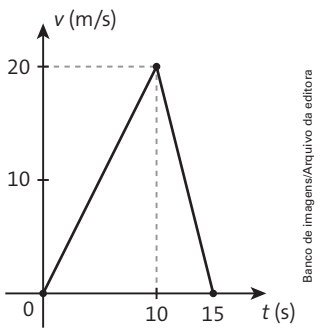
– de 0 s a 6 s: movimento uniformemente acelerado;

– de 10 s a 16 s: movimento retardado de modo não uniforme.

b) A aceleração escalar do movimento no intervalo de 0 a 6 s é:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{12 - 0}{6 - 0} \Rightarrow a = 2 \text{ m/s}^2$$

23 a) De acordo com os dados da questão, construímos o gráfico da velocidade em função do tempo, mostrado na figura seguinte.



Banco de imagens/Arquivo da editora

b) A distância total (*d*) percorrida pelo carro, nesse caso, é igual ao deslocamento (ΔS), que é dado pela área do triângulo mostrado no gráfico do item **a**:

$$d = \Delta S = (\text{área do triângulo}) = \frac{15 \cdot 20}{2} \Rightarrow d = 150 \text{ m}$$

24 a) A velocidade permanecerá constante.

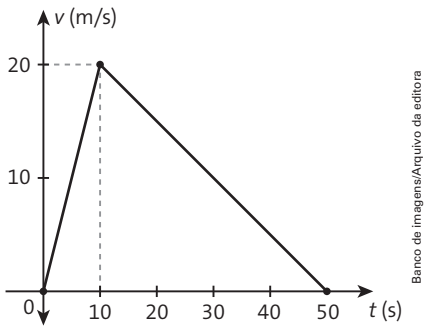
b) Vamos dividir o movimento do carro em duas etapas. Na primeira, de 0 a 10 s, o carro acelera uniformemente a partir do repouso. Ao final dos 10 s, sua velocidade é:

$$v = v_0 + a \cdot t \Rightarrow v = 0 + 2{,}0 \cdot 10 \Rightarrow v = 20 \text{ m/s}$$

Na segunda etapa, o carro (com velocidade inicial de 20 m/s), é freado com aceleração constante (de módulo 0,5 m/s²) até atingir o repouso. O intervalo de tempo dessa etapa é:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow -0{,}5 = \frac{0 - 20}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 40 \text{ s}$$

Com os dados dessas duas etapas, construímos o gráfico da velocidade em função do tempo, conforme mostra a figura seguinte.

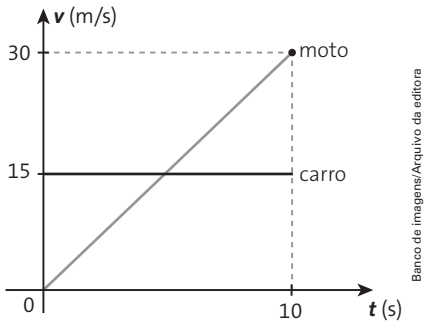


Banco de imagens/Arquivo da editora

No gráfico, o deslocamento total do carro é dado pela área do triângulo:

$$\Delta S = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{50 \cdot 20}{2} \Rightarrow \Delta S = 500 \text{ m}$$

25 a) Durante o intervalo de tempo de 10 s, a velocidade do carro permanece constante em 15 m/s e a velocidade da moto aumenta uniformemente 3,0 m/s em cada segundo. Portanto, após 10 s, a velocidade da moto é 30 m/s. A figura seguinte ilustra o gráfico v × t para os dois móveis.



Banco de imagens/Arquivo da editora

b) Com base no gráfico, o deslocamento de cada móvel, no intervalo de tempo de 0 a 10 s, é dado pela área da figura abaixo da linha do gráfico no intervalo de tempo considerado. Assim, temos:

$\Delta s_{carro} = \text{Área do retângulo} \Rightarrow \Delta s_{carro} = 10 \cdot 15 \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta s_{carro} = 150 \text{ m}$

$$\Delta s_{moto} = \text{Área do triângulo} \Rightarrow \Delta s_{moto} = \frac{10 \cdot 30}{2} \Rightarrow$$

$\Rightarrow \Delta s_{moto} = 150 \text{ m}$

Como a moto e o carro estavam juntos no instante $t = 0$ e ambos percorreram o mesmo deslocamento (150 m), eles estão juntos no instante $t = 10$ s. Portanto, a distância entre eles é **0 (zero)**.

Observe que, no instante em que a moto alcança o carro, ela possui o dobro da velocidade do carro.

26 No primeiro terço do tempo do percurso, o movimento do trem é uniformemente acelerado. Nesse tempo, a função horária do espaço é do 2º grau e a representação gráfica é um arco de parábola com a concavidade para cima, pois a aceleração é positiva.

No segundo terço do tempo do percurso, a velocidade é constante. Nesse intervalo de tempo, a função horária do espaço é do 1º grau e a representação gráfica é um segmento de reta ascendente, pois a velocidade é positiva.

No terceiro terço do tempo do percurso, o movimento é uniformemente retardado. Nesse tempo, a função horária do espaço é do 2º grau e a representação gráfica é um arco de parábola com a concavidade para baixo, pois a aceleração é negativa.

Após a parada do trem, sua posição permanece constante.

Resposta: alternativa **c**.

27 a) De acordo com o gráfico, a velocidade inicial (de lançamento) da pedra é 30 m/s e, após 3,0 s, a velocidade da pedra é 0 (zero). Assim, temos:

$v = v_0 + g \cdot t \Rightarrow 0 = 30 + g \cdot 3{,}0 \Rightarrow g = -10 \text{ m/s}^2$

O valor da aceleração da gravidade no local é **10 m/s²**.

b) Ao atingir a altura máxima, a velocidade da pedra é 0. Isso ocorre no instante $t =$ **3,0 s**.

c) Observe no gráfico que, após 6,0 s, a velocidade da pedra é -30 m/s, ou seja, ela está no ponto de lançamento. Portanto, em **6,0 s**, a pedra retorna ao ponto de lançamento.

d) A altura máxima da pedra é dada por:

$\Delta s = v_0 \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2} \Rightarrow h_{máx.} = 30 \cdot 3{,}0 + \frac{-10 \cdot (3{,}0)^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow h_{máx.} =$ **45 m**

Observação: O valor da altura máxima também pode ser obtido pelo cálculo da área do triângulo acima do eixo horizontal (eixo dos tempos).

28 Desprezando-se a resistência do ar, as acelerações das duas esferas são iguais. Então, durante a queda, a distância entre as esferas permanece constante.

Retomando

29 a) De acordo com o gráfico, a viagem de ônibus demora 8 h $(10 - 2)$, e a viagem de automóvel demora 6 h $(6 - 0)$.

b) As velocidades constantes do automóvel e do ônibus valem:

• Automóvel: $v_A = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow v_A = \frac{540}{6} \Rightarrow v_A = 90$ km/h

• Ônibus: $v_0 = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow v_0 = \frac{0 - 540}{8} \Rightarrow v_0 = -67{,}5$ km/h

No cruzamento do automóvel com o ônibus, temos $(S = S_0 + v \cdot t)$:

$S_A = S_0 \Rightarrow 0 + 90 \cdot t = 540 + (-67{,}5) \cdot (t - 2) \Rightarrow$

$\Rightarrow 90 \cdot t = 540 - 67{,}5 \cdot t + 135 \Rightarrow 157{,}5 \cdot t = 675 \Rightarrow t = 4{,}3$ h

O cruzamento do automóvel com o ônibus ocorre no instante $t = 4{,}28$ h. Nesse tempo, o automóvel percorreu a distância de:

$\Delta S_A = v_A \cdot \Delta t = 90 \cdot 4{,}3 \Rightarrow \Delta S_A = 386$ km

E no intervalo de 2,3 h $(4{,}3 - 2)$, o ônibus percorreu a distância de:

$\Delta S_0 = v_0 \cdot \Delta t = 67{,}5 \cdot 2{,}3 \Rightarrow \Delta S_0 = 154$ km

Esse é um problema que integra várias habilidades, principalmente relativas à leitura de gráficos. Um ponto a ser ressaltado é que os gráficos indicam que a origem é a cidade *A*, ponto de partida do carro.

30 Solução sem a equação de Torricelli:

$12 = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot \Delta t^2 \Rightarrow \Delta t = 2$ s.

Como $v = a \cdot \Delta t$, então:

$v = 6 \cdot 2 = 12$ m/s = $12 \cdot (3{,}6)$ km/h = 43,2 km/h (abaixo do limite)

Solução usando a equação de Torricelli:

$v^2 = 2 \cdot 6 \cdot 12 \Rightarrow v = 12$ m/s = 43,2 km/h (abaixo do limite)

Resposta: alternativa **b**.

Acreditamos que este problema é uma boa oportunidade de trabalhar:

- cuidados ao dirigir um automóvel;
- resoluções diferentes para o mesmo problema;
- interpretação de uma situação real por um modelo.

Resposta: alternativa **b**.

31 Como os veículos estão a mesma velocidade e percorrem, na frenagem, a mesma distância, a distância mínima *d* entre os veículos, para que não ocorra colisão, corresponde ao produto da velocidade do carro II pelo intervalo de tempo de reação do motorista. Assim:

$d = v \cdot \Delta t = 20 \cdot 0{,}6 \Rightarrow d = 12$ m

Resposta: alternativa **d**.

32 A velocidade, em km/h, no final da queda livre de 2,0 s é:

$v = v_0 + g \cdot t \Rightarrow v = 0 + 10 \cdot 2{,}0 \Rightarrow v = 20$ m/s = 72 km/h

Após a fase de queda livre, tem início a ação da força elástica, oposta ao deslocamento do atleta. Embora a velocidade continue a aumentar, a aceleração vai diminuindo até o instante em que a força elástica tiver a mesma intensidade que o peso. Nesse instante, a velocidade é máxima, e a aceleração é nula. A partir desse ponto, o movimento é retardado.

CAPÍTULO 4 – Movimentos em duas dimensões

Sugerimos começar retomando o que já foi trabalhado nos capítulos anteriores em relação aos movimentos. Os movimentos em nosso universo acontecem no espaço tridimensional. No entanto, conhecida previamente a trajetória numerada na qual o movimento acontece, foi possível associar a cada posição uma grandeza escalar (número + unidade) pela qual pudemos determinar cada uma das posições ocupadas durante o movimento.

Agora queremos ir um pouco mais longe. Uma sugestão é os alunos suporem que a trajetória não é conhecida e que um possível desafio será prever a trajetória que será descrita pelo corpo, como

fazemos, por exemplo, ao lançar uma bolinha de papel ao cesto de lixo. Sem nunca ter estudado Física, as pessoas fazem isso muito bem, guiadas pela experiência. Mas como a Física pode nos auxiliar nesse problema?

Antecipe outras situações que irão comparecer ao longo do capítulo: fazer composições de forças, descrever movimentos circulares, diferenciar curvas fechadas de curvas suaves e como a Física pode nos auxiliar no traçado das autoestradas.

1. Grandezas escalares e grandezas vetoriais

É importante iniciar o assunto com exemplos que despertem a atenção dos alunos. Para isso, colocamos no Livro do Aluno exemplos que permitem estabelecer as diferenças entre grandezas escalares e vetoriais.

Julgamos conveniente o trabalho com antecedência, por isso aconselhamos que os alunos tragam, para a sala de aula, régua e compasso. O exemplo que usamos no texto, para ilustrar a importância da direção e do sentido na soma de dois deslocamentos, deve ser realizado, juntamente com os alunos, passo a passo.

A construção geométrica deve ser feita em escala, conforme fizemos no livro. Assim, os alunos poderão medir diretamente com a régua os comprimentos dos deslocamentos. Sugerimos que você solicite aos alunos que meçam a distância da "casa" em vários pontos diferentes da circunferência de raio 3 km. O objetivo é verificar que todos esses comprimentos serão sempre maiores que 1 km (ponto *A*) e menores do que 7 km (ponto *B*).

Mas, antes da obtenção dos resultados, sugerimos que você peça aos alunos que levantem hipóteses a respeito dos valores que serão encontrados e procurem comparar os valores obtidos com os que foram supostos, discutindo com os alunos as possíveis discrepâncias.

Para refletir

Um dos fatores de maior importância no conhecimento da natureza de uma grandeza (escalar ou vetorial) é como iremos compô-la (somar ou subtrair, por exemplo) com outras. Ressalte que a "soma" de duas forças de 3 N e 4 N pode acarretar uma resultante cuja intensidade estará em 1 N e 7 N.

O traçado da rota de um avião deve levar em conta a velocidade do avião em relação ao ar e também a velocidade do vento. Da mesma forma, o movimento de um barco depende da velocidade da correnteza.

2. Operações com vetores

Neste tópico sobre operações vetoriais, o destaque é para a adição vetorial. É importante salientarmos que os vetores representam grandezas físicas e, assim, a soma de dois ou mais vetores só pode ser efetuada se os vetores representam grandezas da mesma espécie, ou seja, só é possível somarmos duas ou mais forças, duas ou mais velocidades, duas ou mais acelerações. Não é possível a adição de uma força com uma velocidade, por exemplo, pois representam grandezas de espécies diferentes.

Julgando necessário, poderá usar como introdução o acidente ocorrido em 1947 com um avião na cordilheira dos Andes, próximo a Santiago do Chile. Veja reportagem no *site* da BBC. Disponível em: <www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/03/140313_desaparecimento_andes_rb>, acesso em: set. 2015.

O professor poderá utilizar outros exemplos, talvez menos catastróficos, para ilustrar a importância das operações vetoriais e suas aplicações tecnológicas.

No texto do aluno, para ilustrar a adição de vetores, tomamos como base a grandeza **deslocamento**. Sugerimos que o professor faça comentários sobre a diferença das seguintes representações: $\vec{S} = \vec{S_1} + \vec{S_2} + \vec{S_3}$ e $S = S_1 + S_2 + S_3$. No primeiro caso, estamos indicando que o vetor $\vec{S}$ é o resultado da adição vetorial de três vetores e, no segundo caso, que o módulo do vetor $\vec{S}$ é igual à soma dos módulos dos três vetores.

Para a adição de três ou mais vetores, apresentamos a regra do polígono e, para a adição de dois vetores, a regra do paralelogramo. Nesse caso, você dispõe de um exemplo numérico para trabalhar com os alunos. Sugerimos que o Exercício resolvido 1 seja resolvido em sala de aula.

Outra operação vetorial que utilizaremos é a subtração vetorial, principalmente quando se trata de determinar vetores deslocamento a partir dos vetores posição, conforme veremos no tópico seguinte.

Para refletir

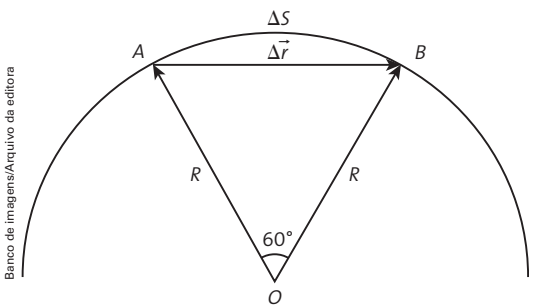
Para efetuarmos a adição de grandezas físicas é necessário que as grandezas sejam da mesma espécie. Essa condição é válida tanto para as grandezas escalares como para as grandezas vetoriais. Isso significa dizer que, por exemplo, podemos somar dois ou mais valores da grandeza "deslocamento vetorial", mas não podemos somar um valor da grandeza "deslocamento vetorial" com um valor da grandeza "velocidade vetorial" ou com um valor de qualquer outra grandeza vetorial que não seja "deslocamento vetorial".

Se trocarmos a ordem dos vetores (deslocamentos), obteremos o mesmo resultado.

3. Deslocamento vetorial e velocidade vetorial

As ideias sobre o deslocamento vetorial são apresentadas aos alunos com base em um exemplo muito conhecido de todos: a posição dos jogadores em uma partida de futebol.

Em seguida, sugerimos que você mostre as diferenças entre os deslocamentos vetorial e escalar. Para isso, podemos utilizar o deslocamento de um carro, do ponto *A* ao ponto *B*, em uma trajetória circular, conforme mostra a figura.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Como calcular os deslocamentos escalar e vetorial do carro entre os pontos *A* e *B*?

Para o cálculo do deslocamento escalar, podemos efetuar uma regra de três. Se, para uma volta completa na circunferência (360°), o deslocamento escalar é igual ao comprimento da circunferência ($2\pi R$), então, para um ângulo de 60°, o deslocamento escalar é dado por:

$360° = 2\pi R$

$60° = \Delta S$

Nessa relação, obtemos:

$$\Delta S = \frac{60 \cdot 2\pi R}{360} = \frac{\pi R}{3}$$

Sendo $R = 100$ m e utilizando $\pi = 3{,}14$, obtemos:

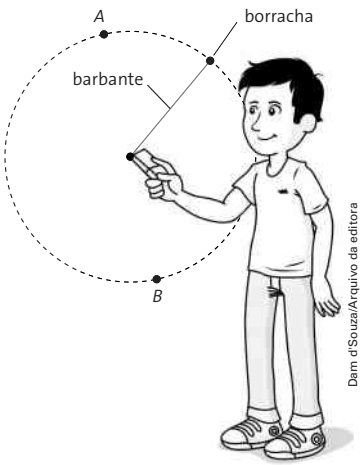
$$\Delta S = \frac{3{,}14 \cdot 100}{3} \Rightarrow \Delta S = 104{,}7 \text{ m}$$

E, para o cálculo do deslocamento vetorial, devemos observar na figura que o triângulo *ABO* é equilátero, ou seja, possui os três lados iguais. Portanto, o lado *AB*, que representa o módulo do vetor deslocamento, é igual a 100 m. Portanto:

$|\vec{\Delta r}| = 100$ m.

Você poderá usar esse exemplo numérico para justificar a afirmativa que o módulo do vetor velocidade média é menor ou igual ao módulo da velocidade escalar média, pois o intervalo de tempo é o mesmo nos dois deslocamentos.

Encerrando o tópico, temos os comentários sobre a velocidade vetorial instantânea. Nesse caso, um modo prático para você mostrar que a direção da velocidade vetorial instantânea é sempre tangente à trajetória consiste em fazer uma borracha, amarrada em um barbante, girar em círculo vertical, conforme mostra a figura.



Dam d'Souza/Arquivo da editora

Se o barbante for solto quando a borracha estiver no ponto *A*, então qual é o movimento subsequente da borracha? E se o barbante for solto quando a borracha estiver no ponto *B*?

Antes de realizar as experiências, procure incentivar os alunos a elaborar hipóteses a respeito de qual será o movimento subsequente da borracha. Peça a eles que se lembrem de situações cotidianas nas quais o mesmo fenômeno é observado.

Você poderá fazer a experiência soltando o barbante em vários pontos diferentes. Certamente, os alunos perceberão que o movimento subsequente da borracha é na direção tangente à curva.

4. Aceleração vetorial

O ponto básico deste tópico é: nos movimentos curvilíneos, o vetor velocidade é sempre variável. Isso significa dizer que os movimentos curvilíneos sempre apresentam aceleração. Mesmo que o módulo da velocidade permaneça constante (movimento curvilíneo e uniforme), o vetor velocidade é variável, devido ao fato de a trajetória ser curva.

No livro, esse fato está ilustrado na figura que mostra o circuito de Interlagos, em São Paulo, com os valores da velocidade desenvolvida por um carro de Fórmula 1, em uma volta completa.

Para que os alunos percebam claramente se estamos nos referindo a uma variação no módulo do vetor velocidade, ou na sua direção e sentido, ou ainda em ambos, apresentamos a aceleração vetorial por meio de suas componentes: a aceleração tangencial e a aceleração centrípeta.

Em cada situação apresentada, discutimos a trajetória descrita pelo móvel (retilínea ou curvilínea) e o comportamento do módulo do vetor velocidade (movimento uniforme ou movimento acelerado).

Se você julgar necessário, poderá mostrar a dedução da expressão para o cálculo da aceleração centrípeta, conforme apresentado no livro.

Trabalho em equipe

Estimule os alunos a reunirem-se para preencher a tabela com as características da aceleração em cada movimento. Seguem as repostas.

Movimento	Aceleração tangencial	Aceleração centrípeta	Posição relativa entre $\vec{v}$ e $\vec{a}$
MRU	–	–	–
MRUA	X	–	Paralelos de mesmo sentido
MRUR	X	–	Paralelos de sentidos contrários
MCU	–	X	Perpendiculares
MCUA	X	X	Formam entre si um ângulo θ: $0° < \theta < 90°$
MCUR	X	X	Formam entre si um ângulo θ: $90° < \theta < 180°$

5. Movimentos circulares

No cotidiano, existe uma infinidade de dispositivos que funcionam desenvolvendo um movimento circular. Além dos exemplos citados no livro, não podemos nos esquecer das máquinas e motores que utilizam a transmissão de movimentos circulares.

A justificativa para a utilização das grandezas angulares é: são mais apropriadas do que as grandezas escalares para descrever os movimentos circulares.

Especificamente, no movimento circular e uniforme, devemos enfatizar as grandezas **frequência** e **período**, duas grandezas inversamente proporcionais. Se dobrarmos o número de voltas dadas por um corpo em um dado intervalo de tempo, a duração para uma volta cai à metade. O professor poderá utilizar exemplos diretamente ligados à vida dos alunos. Por exemplo, se determinada matéria, como Biologia, realizar duas avaliações no bimestre, teremos, em média, uma avaliação a cada 30 dias. Mas, se dobrarmos o número de avaliações, elas passam a ser realizadas a cada 15 dias, em média.

Finalizando a primeira parte desse tópico, mostramos a dedução da função horária do movimento circular e uniforme na forma angular. Trata-se de uma equação do 1º grau, como todas as funções que representam um movimento uniforme.

A seguir, mostramos os movimentos concêntricos e a transmissão do movimento circular por meio de polias e engrenagens, muito utilizado na indústria, pois, com um único motor, pode-se colocar várias máquinas em movimento.

Física explica

Nesta seção, apresentamos o texto sobre o funcionamento de uma bicicleta, com suas engrenagens dianteira (coroa) e traseira (catraca). Julgamos oportuno você levar uma bicicleta de marchas para a sala de aula e utilizá-la como demonstração da transmissão de movimento circular. Ela será muito útil nos comentários que apresentamos.

Tanto a coroa como a catraca dispõem de várias engrenagens, com tamanhos diferentes, que permitem ao usuário escolher a melhor combinação para obter o melhor proveito no movimento da bicicleta.

Em relação às duas questões formuladas no texto, apresentamos as possíveis respostas:

1. O tamanho da coroa deve ser o dobro do tamanho da catraca. Assim, a cada volta da coroa, a catraca dá duas voltas e, consequentemente, a roda traseira dará duas voltas, pois ela está acoplada à catraca.

2. Se uma bicicleta possui uma única catraca e uma única coroa, ela apresenta uma única possibilidade de associação coroa/catraca. Já nas bicicletas modernas, as chamadas bicicletas com marchas, existem várias possibilidades de associação e isso favorece o movimento em cada trecho do percurso.

6. Lançamento de corpos (projéteis)

Sugerimos que o professor inicie este tópico com o **experimento** proposto neste capítulo: a construção da trajetória parabólica de um projétil. Para isso, os pré-requisitos são o movimento uniforme e as proporções de Galileu dos números ímpares, já trabalhados com os alunos no Capítulo 3.

Em seguida, alguns comentários sobre a teoria do *impetus* e a trajetória descrita pelos projéteis: linha reta até atingir o ponto de altura máxima e, após o término do *impetus*, uma queda vertical. Nesse sentido, é importante destacar outros trabalhos, como o do artista, inventor e cientista italiano Leonardo da Vinci (1452-1519), que, *em relação ao movimento de uma bala de canhão, afirmou que sua trajetória era uma curva contínua*. Posteriormente, os trabalhos do matemático italiano Niccolò Fontana Tartaglia (1500-1557). O professor poderá utilizar o fato que, em 1537,

> Tartaglia publicou o livro *Nova Ciência* no qual considerou que os movimentos natural e violento aristotélicos poderiam ser conciliáveis; desse modo, utilizou-os para explicar o movimento oblíquo dos projéteis cuja trajetória seria, então, composta de uma parte retilínea (correspondente à parte violenta), seguida de uma parte circular (mista) e, por fim, de uma parte vertical (correspondente ao aspecto natural do movimento),

conforme nos relata o Prof. José Maria Filardo Bassalo, em seu livro *Nascimentos da Física: 3500 a.C. – 1900 a.D*.

Julgamos conveniente, desenvolver, inicialmente, o lançamento oblíquo e, em seguida, o lançamento horizontal, como um caso particular.

Sugerimos que o professor procure não forçar a memorização de fórmulas, mas que as forneça sempre que for necessário. Nos exercícios propostos, procuramos evitar questões que envolvem unicamente cálculos numéricos. O professor dispõe dos exercícios resolvidos 1 e 2 como modelos.

Em construção

Neste capítulo, nosso destaque é para dois construtores da Física, o engenheiro, físico e matemático belga Simon Stevinus (Stevin) (1548-1620) e o matemático e físico francês Pierre Varignon (1654-1722).

Stevin dedicou parte de sua vida ao estudo da Estática e se notabilizou com uma importante contribuição para a Hidrostática, com a lei que leva o seu nome: lei de Stevin.

Por outro lado, embora Varignon não seja um físico tão conhecido do grande público, os alunos perceberão a importância de seu trabalho e suas contribuições à Física, principalmente em relação à Mecânica, com seus estudos sobre equilíbrio e momento de forças.

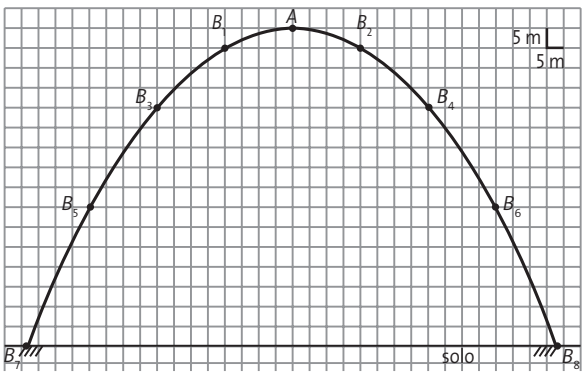
Experimento

Como dissemos, esta atividade prática poderá ser realizada como abertura do tópico 7. Julgamos interessante que a atividade seja realizada em sala de aula e que cada aluno faça a sua construção.

Para a construção da trajetória parabólica, o aluno deverá levar em conta que:

- na direção vertical, são válidas as proporções dos números ímpares consecutivos (proporções de Galileu);
- na direção horizontal, temos um movimento uniforme, ou seja, deslocamentos iguais em intervalos de tempo iguais.

Como são dados três pontos, o ponto *A*, vértice da parábola, e os pontos B_1 e B_2, duas posições simétricas (uma na subida e outra na descida) e que correspondem a um intervalo de tempo de 1,0 s, obtemos a curva mostrada na figura seguinte:



Banco de imagens/Arquivo da editora

De acordo com os dados, o ponto B_2, que representa a posição do projétil 1,0 s após passar pelo vértice, encontra-se, em relação ao ponto *A*, 5,0 m abaixo e a 20 m, na horizontal. Portanto, o ponto B_4, que representa a posição do projétil 2,0 s após passar pelo vértice, encontra-se, em relação a B_2, 15,0 m abaixo e a 20 m, na horizontal. O ponto B_6, que representa a posição do projétil 3,0 s após passar pelo vértice, encontra-se, em relação a B_4, 25,0 m abaixo e a 20 m, na horizontal, e o ponto B_8, que representa a posição do projétil 4,0 s após passar pelo vértice, encontra-se, em relação a B_6, 35,0 m abaixo e a 20 m, na horizontal. Simetricamente, obtemos os pontos B_3, B_5 e B_7.

Em relação às questões formuladas, temos:

1. De acordo com a figura, o tempo de subida do projétil é 4,0 s; o tempo de descida, 4,0 s, e o tempo de voo do projétil é igual a 8,0 s.

2. Como as quadrículas possuem 5,0 m de lado, obtemos para o ponto *A*, que corresponde ao ponto mais alto atingido pelo projétil, uma altura vertical de $16 \cdot 5{,}0 = 80$ m.

3. Do ponto B_7 ao ponto B_8 temos, na horizontal, uma distância correspondente a 32 quadrículas, ou seja, $32 \cdot 5{,}0 = 160$ m.

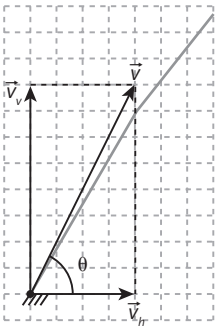
4. O componente horizontal da velocidade do projétil é constante. Como o projétil percorre, na horizontal, uma distância de 20 m a cada segundo, sua velocidade horizontal é 20 m/s. Na vertical, o movimento é uniformemente acelerado, e como o projétil parte do repouso do ponto *A* e atinge o solo em 4,0 s, sua velocidade vertical ao atingir o solo é:
$v_v = v_0 + g \cdot t \Rightarrow v_v = 0 + 10 \cdot 4{,}0 \Rightarrow v_v = 40$ m/s

5. O módulo da velocidade com que o projétil atinge o solo é dado por:

$v^2 = v_h^2 + v_v^2 \Rightarrow v = \sqrt{(20)^2 + (40)^2} \Rightarrow v = 44{,}7$ m/s

E essa é a velocidade (em módulo) com que ele foi lançado do solo.

6. O ângulo de lançamento do projétil é obtido com base na figura seguinte:



$\text{tg}\,\theta = \frac{v_v}{v_h} \Rightarrow \text{tg}\,\theta = \frac{40}{20} = 2$

E, em uma tabela trigonométrica, obtemos: $\theta = 63°$.

Experimento complementar

Sugerimos que esta atividade complementar seja realizada em um trabalho extraclasse, em equipes de quatro alunos. O professor poderá optar por uma análise somente qualitativa e verificar a concordância da trajetória parabólica prevista com a observada para um jato de água ou explorar também a parte quantitativa e solicitar que os alunos obtenham o valor da aceleração da gravidade usando o lançamento horizontal.

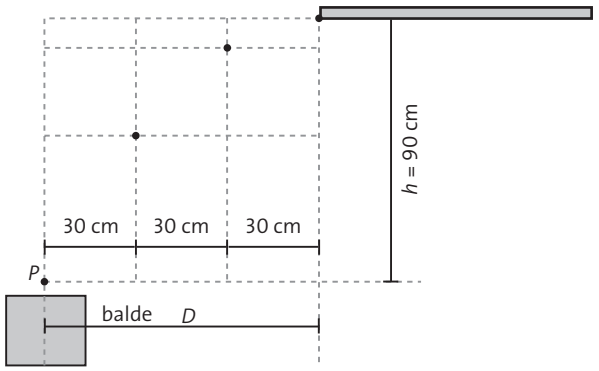
Análise qualitativa

Para a realização da atividade, vamos precisar de uma mangueira comum, um local em que haja uma torneira, uma cartolina grande (ou lousa) para fazer alguns desenhos, um balde de 10 litros e uma mesa ou banco com cerca de 90 cm de altura. A mangueira deve ser presa no banco, de forma que seu jato de saída seja horizontal. É preciso ajustar o fluxo de água na torneira para que a velocidade seja a necessária para o jato atingir exatamente o balde, onde iremos coletar a água, a 90 cm da vertical de lançamento.

De acordo com as proporções de Galileu, as distâncias percorridas na vertical estarão na proporção 1 : 3 : 5. Como 1 + 3 + 5 = 9, dividimos a altura total em 9 partes. Uma parte será o percurso no primeiro intervalo de tempo, 3 partes no segundo e, finalmente, 5 partes no último intervalo de tempo. Essas distâncias serão então: 10 cm, 30 cm e 50 cm.

Na horizontal, marcamos três intervalos iguais de 30 cm, pois nessa direção o movimento é uniforme.

Com essas informações, construímos, na cartolina, a figura indicada a seguir, procedendo da seguinte forma: a partir do ponto de lançamento (primeiro ponto), descemos 10 cm na vertical e andamos 30 cm para a esquerda na horizontal. Isso nos fornece o segundo ponto. Em seguida, descemos 30 cm na vertical e andamos mais 30 para a esquerda. Marque o terceiro ponto. Finalmente, descemos 50 cm e andamos 30 para esquerda para obter o quarto ponto: o ponto *P*. A figura seguinte ilustra o resultado.



Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

A cartolina deve ser colada em uma parede e a mesa deve estar com a mangueira encostada nela. Lembre-se que o primeiro ponto deve coincidir com a saída da água do bocal da mangueira. Os demais pontos serão os pontos em frente aos quais o fluxo de água deve passar.

Análise quantitativa

Nesta segunda parte, podemos determinar o valor da aceleração da gravidade no local. Para isso, precisamos:

1. Efetuar algumas medidas;
2. Pesquisar o conceito de **vazão**: $\phi = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ (volume por unidade de tempo) ou como o produto da velocidade pela área: $\phi = A \cdot v_x$. Para isso, sugerimos uma consulta ao Capítulo 11 (Fluidos) deste volume.

Como a distância de queda é relativamente pequena (90 cm), a medida do tempo de queda usando simplesmente um cronômetro manual certamente apresentará um erro relativo muito grande. Podemos, então, proceder da seguinte forma. Medimos cuidadosamente o volume do balde. Para isso, utilizamos um recipiente padrão de 1 L, como um litro de leite vazio, por exemplo, e colocamos 10 litros de água no balde. Fazemos uma marca no balde correspondente a esse nível.

Com o balde vazio, ajustamos o fluxo de água para passar exatamente sobre *P* e medimos o intervalo de tempo (Δt) necessário para encher o balde até no nível de 10 L. Com isso, obtemos a vazão do fluxo (ϕ). Em seguida, medimos o diâmetro interno (d) da mangueira e calculamos a área da secção transversal do fluxo:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Como a vazão é $\phi = A \cdot v_x$, podemos escrever: $\frac{\phi}{A} = v_x$ (I). Chamando-se de *D* a distância entre a vertical do ponto de lançamento e o ponto *P*, temos:

$$v_x = \frac{D}{t_q} \text{ (II)}$$

onde t_q é o tempo de queda. Lembrando que:

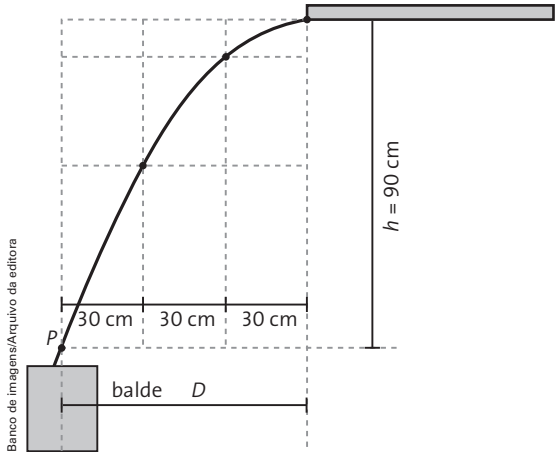
$$h = \frac{1}{2} g \cdot t_q^2 \Rightarrow t_q = \sqrt{\frac{2h}{g}} \text{ (III)}$$

Igualando as equações I e II e, levando em conta a III, temos:

$$\frac{\phi}{A} = \frac{D}{t_q} = \frac{D}{\sqrt{\frac{2h}{g}}} \Rightarrow \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{D \cdot A}{\phi} \Rightarrow g = \frac{2\phi^2 \cdot h}{D^2 \cdot A^2}$$

Podemos experimentar diferentes valores de fluxo, com consequente alteração no valor de *D*, e verificar a concordância dos valores de *g* obtidos em diferentes experimentos.

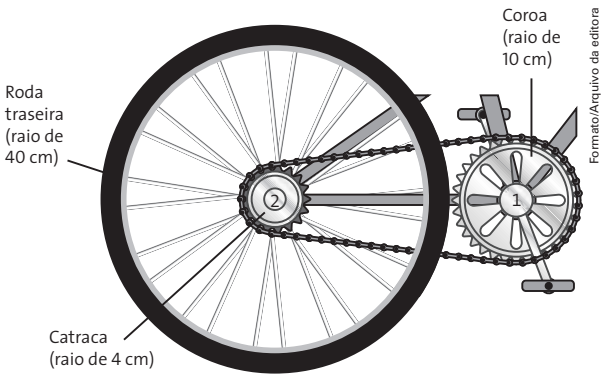
A figura seguinte ilustra o jato de água e as medidas correspondentes.



Atividades complementares

A seguir propomos algumas questões que podem ser utilizadas para avaliação ou para trabalhos em casa/classe.

1. A figura representa a roda traseira, a catraca e a coroa de uma bicicleta.



Suponha que a bicicleta esteja em movimento e que a velocidade angular da coroa seja 2,0 rad/s.

a) Qual é a velocidade angular da catraca?

b) Qual é a velocidade da bicicleta, em relação ao solo?

Resolução:

a) Na figura dada, observamos que a catraca e a coroa estão ligadas por uma corrente. Portanto, um ponto da periferia da catraca, em contato com a corrente, possui a mesma velocidade escalar de um ponto na periferia da coroa que também esteja em contato com a corrente. Assim, escrevemos:

$v_{catraca} = v_{coroa} \Rightarrow \omega_{catraca} \cdot R_{catraca} = \omega_{coroa} \cdot r_{coroa} \Rightarrow$

$\Rightarrow \omega_{catraca} \cdot 4{,}0 = 2{,}0 \cdot 10 \Rightarrow \omega_{catraca} = 5{,}0$ rad/s

b) Como a catraca e a roda traseira da bicicleta são concêntricas (possuem o mesmo centro), suas velocidades angulares são iguais. Assim, escrevemos:

$\omega_{roda} = \omega_{catraca}$

Sendo $\omega = \frac{v}{r}$, obtemos:

$\frac{v_{roda}}{r_{roda}} = \omega_{catraca} \Rightarrow \frac{v_{roda}}{40} = 5{,}0 \Rightarrow$

$\Rightarrow v_{roda} = 200$ cm/s $= 2{,}0$ m/s

A velocidade da bicicleta é igual à velocidade de suas rodas. Portanto, a velocidade da bicicleta é **2,0 m/s**.

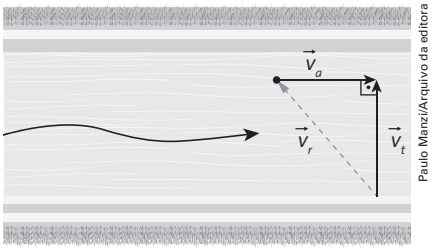
2. Em um rio cuja correnteza tem velocidade de 5 m/s, um barco que desenvolve a velocidade de 13 m/s em relação às águas atravessa esse rio de forma que seu movimento resultante é sempre perpendicular às margens.

a) Represente a composição de velocidades para que isso aconteça e obtenha a intensidade da velocidade do barco em relação às margens.

b) Se o rio tem 60 m de largura, quanto tempo demora a travessia?

Resolução:

a) De acordo com a convenção para as velocidades, a velocidade da correnteza é a velocidade de arrastamento, a do barco em relação às águas é a relativa e a do barco em relação às margens é a total.



Por Pitágoras, temos:

$v_r^2 = v_t^2 + v_a^2 \Rightarrow 13^2 = v_t^2 + 5^2 \Rightarrow v_t^2 = 144 \Rightarrow v_t = 12$ m/s

b) $v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow 12 = \frac{60}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 5$ s

3. Considere que a máxima aceleração que um automóvel possa obter devido ao atrito com o solo seja 6,0 m/s^2. Uma moderna rodovia é construída de forma que qualquer uma de suas curvas horizontais possa ser feita com segurança sob velocidade de 108 km/h (30 m/s).

a) Qual é a grandeza física que diferencia uma curva fechada de uma curva suave?

b) Como essa grandeza deve ser ajustada na rodovia citada?

Resolução:

a) A grandeza física que diferencia as curvas é o raio de curvatura. As curvas fechadas têm raio pequeno.

b) Como a aceleração centrípeta pode ser obtida por $a_c = \frac{v^2}{R}$, temos:

$6 = \frac{30^2}{R} \Rightarrow R = \frac{900}{6} \Rightarrow R = 150$ m

4. A rotação é uma forma vantajosa de confinar os movimentos em aparelhos a uma determinada região. O liquidificador, a batedeira e o ventilador são exemplos desse confinamento. Essa vantagem, entretanto, tem o risco de os componentes rotativos serem muito acelerados e escaparem se não estiverem bem fixados.
Um ventilador gira suas pás a 600 rotações por minuto. Se o raio das pás é 20 cm, qual é a aceleração de um ponto de sua extremidade? Compare com a aceleração da gravidade.

Resolução:

Cada rotação corresponde a 2π rad. Assim, em 60 s (1 min), temos:

$\omega = \frac{600 \cdot 2\pi}{60} \Rightarrow \omega = 20\pi$ rad/s

Como a aceleração centrípeta pode ser obtida por $a_c = \omega^2 R$, temos:

$a_c = (20\pi)^2 \cdot 0{,}2 = 790 \text{ m/s}^2$

Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, a aceleração obtida é praticamente 80 vezes a da gravidade.

5. Um jogador de futebol chuta uma bola, inicialmente parada no solo, com velocidade inicial de 25 m/s e formando um ângulo de 37° com a horizontal. Despreze a resistência do ar.

Dados: $g = 10 \text{ m/s}^2$; sen 37° = 0,60; cos 37° = 0,80.

a) Após quanto tempo, a partir do lançamento, a bola retorna ao solo?

b) Trace uma figura que mostre o movimento da bola, com os pontos de altura máxima e alcance.

Resolução:

O intervalo de tempo desde o lançamento até o ponto de altura máxima – tempo de subida – pode ser obtido por:

$v_y = v_0 \cdot \text{sen}\,\theta - gt \Rightarrow 0 = 25 \cdot 0{,}6 - 10 \cdot t_s \Rightarrow t_s = 1{,}5 \text{ s}$

O tempo de voo é o dobro do tempo de subida, logo $t_v = 3{,}0$ s.

b) A altura máxima pode ser obtida por:

$v_y^2 = v_0^2 \cdot \text{sen}^2\,\theta - 2g \cdot \Delta y \Rightarrow$

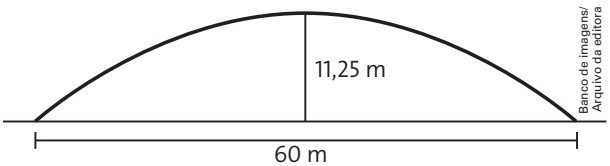
$\Rightarrow 0 = 25^2 \cdot (0{,}6)^2 - 2 \cdot 10 \cdot h_{máx.} \Rightarrow h_{máx.} = 11{,}25 \text{ m}$

O alcance horizontal da bola pode ser obtido de:

$x = v_0 \cdot \cos\theta \cdot t$. Então:

$A = 25 \cdot 0{,}8 \cdot 3 \Rightarrow A = 60 \text{ m}$

Com os dados obtidos, traçamos a curva.



Banco de imagens/ Arquivo da editora

Resoluções dos exercícios

1 Acreditamos que os alunos não encontrarão problemas para responder a esta questão, pois a maioria das grandezas apresentadas já foi citada ao longo dos quatro primeiros capítulos. Assim, temos:

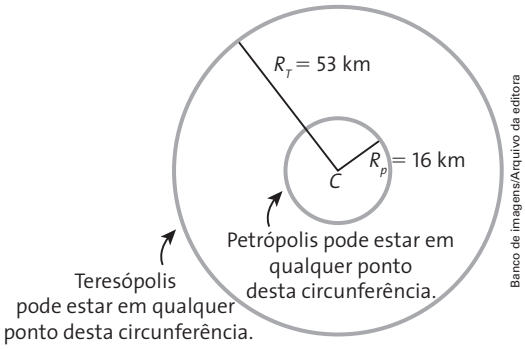
- Escalares – temperatura, distância percorrida, área e volume.
- Vetoriais – força, deslocamento, velocidade e aceleração.

2 O objetivo desta questão é fazer com o que o aluno perceba a diferença entre uma grandeza vetorial (deslocamento) e uma grandeza escalar (distância percorrida). Se for necessário, você poderá retomar o exemplo do texto: Se uma pessoa caminha 4 km e, em seguida, mais 3 km, certamente ela caminha 7 km, mas não obrigatoriamente ela estará a 7 km do ponto de partida.

Então, em relação à questão, é possível o deslocamento de um carro ser 60 km, e a distância percorrida, 180 km. Justificativa: o deslocamento é uma grandeza vetorial e a distância percorrida é uma grandeza escalar.

3 Considerando que as distâncias se refiram a deslocamentos em linha reta, a informação da placa diz respeito somente ao módulo dos vetores deslocamento: Petrópolis está a 16 km do ponto tomado como referencial e Teresópolis está a 53 km desse mesmo ponto. Não temos informação alguma sobre a direção e sentido desses deslocamentos.

Se, com centro no ponto de origem, traçarmos uma circunferência com raio igual a 16 km, Petrópolis poderá estar em qualquer ponto dessa circunferência que estará a 16 km do ponto referencial. O mesmo podemos dizer de Teresópolis: ela se encontra em qualquer ponto de uma circunferência de raio 53 km cujo centro é o ponto de referência.



Banco de imagens/Arquivo da editora

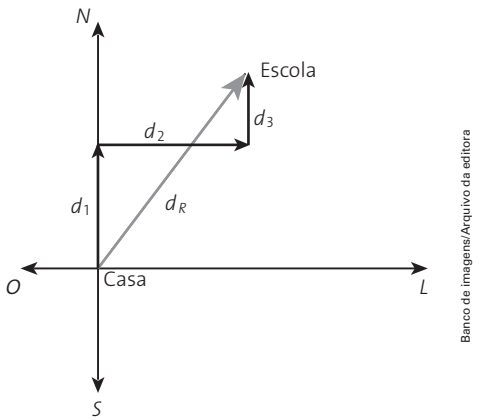
De acordo com a figura, a distância entre Petrópolis e Teresópolis poderá ser qualquer valor entre 37 km (53 − 16) e 69 km (53 + 16).

4 O trajeto apresentado na figura indica que João percorreu a distância de 1200 m, uma vez que cada um dos trechos de quarteirão percorridos mede 200 m.

Seu deslocamento é a menor distância entre seu ponto de partida e seu ponto final, e pode ser dado pela hipotenusa do triângulo retângulo de lados 600 m e 200 m. Assim:

$S^2 = 600^2 + 200^2 \Rightarrow S^2 = 400\,000 \Rightarrow S = 632 \text{ m}$

5 a) Na figura, $\vec{d}_1$, $\vec{d}_2$ e $\vec{d}_3$ são os três deslocamentos e $\vec{d}_R$ é o deslocamento resultante.



Banco de imagens/Arquivo da editora

b) A distância percorrida por Pedro é:

$d_{perc} = d_1 + d_2 + d_3 \Rightarrow d_{perc} = 500 + 600 + 300 \Rightarrow$

$\Rightarrow d_{perc} = 1400 \text{ m}$

O módulo do deslocamento resultante é dado por:

$d_R = \sqrt{(d_1+d_3)^2+d_2^2} \Rightarrow d_R = \sqrt{(500+300)^2+(600)^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow d_R = 1000 \text{ m}$

6 a) Na região de vento, o avião fica sob a ação de duas velocidades: $v_1 = 360$ km/h, de norte para sul, e $v_2 = 150$ km/h, de leste para oeste. Como as velocidades v_1 e v_2 são perpendiculares entre si, o vetor resultante é dado por:

$(v_R)^2 = (v_1)^2 + (v_2)^2 \Rightarrow v_R = \sqrt{(360)^2 + (150)^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_R = 390 \text{ km/h}$

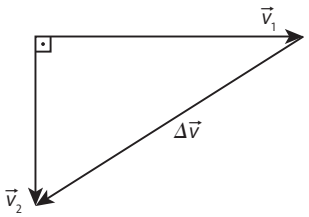
b) O vento, com velocidade constante de 150 km/h, agindo durante 2,0 h, acarreta um deslocamento de:

$\Delta r = v_2 \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta r = 150 \cdot 2{,}0 \Rightarrow \Delta r = 300$ km

Essa é a distância que o avião estará do ponto de destino se o navegador não corrigir a rota do avião.

7 Esta questão trata da subtração vetorial que é feita do seguinte modo: desenhamos os vetores velocidade $\vec{v}_1$ e $\vec{v}_2$ partindo da mesma origem, e o vetor $\Delta\vec{v}$ é obtido unindo-se as duas extremidades com um segmento de reta orientado de $\vec{v}_1$ para $\vec{v}_2$. Na figura seguinte, supomos que:

$\vec{v}_1 = 16$ m/s; horizontal para a direita; $\vec{v}_2 = 12$ m/s; vertical para baixo.



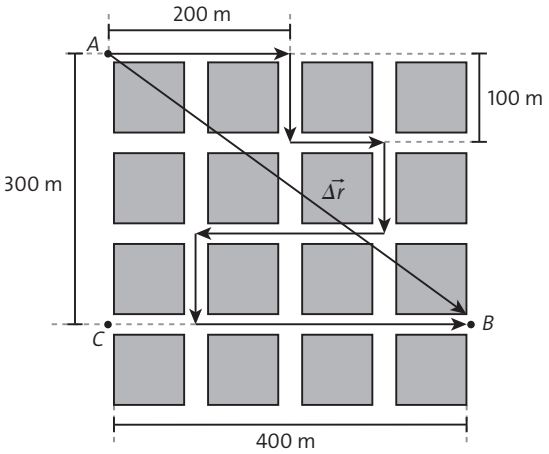
O módulo do vetor $\Delta\vec{v}$ é dado por:

$(\Delta v)^2 = (v_1)^2 + (v_2)^2 \Rightarrow \Delta v = \sqrt{(16)^2 + (12)^2} \Rightarrow \Delta v = 20$ m/s

O módulo da variação vetorial da velocidade é 20 m/s.

Resposta: alternativa **d**.

8 Na figura seguinte, destacamos o trajeto percorrido pela pessoa para ir de *A* até *B* e o correspondente vetor deslocamento.



Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

a) De acordo com a figura, de *A* até *B*, a pessoa percorre a distância de:

$d = 200 + 100 + 100 + 100 + 200 + 100 + 300 \Rightarrow$

$\Rightarrow d = 1100$ m

b) O segmento de reta que liga os pontos *A* e *B* (deslocamento vetorial) é a hipotenusa de um triângulo retângulo de catetos 300 m e 400 m. Portanto:

$\Delta r^2 = (300)^2 + (400)^2 \Rightarrow \Delta r = 500$ m

c) O módulo da velocidade vetorial média é dado por:

$$|\vec{v_m}| = \frac{|\Delta\vec{r}|}{\Delta t} \Rightarrow |\vec{v_m}| = \frac{500}{20} \Rightarrow |\vec{v_m}| = 25 \text{ m/min}$$

9 A distância a ser percorrida no voo corresponde a meia circunferência da Terra, logo:

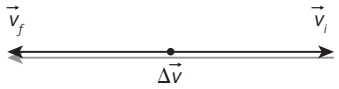
$$\Delta S = \frac{2\pi R}{2} = 3{,}14 \cdot 6\,370 \text{ km}$$

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta S}{v} \Rightarrow \Delta t = \frac{3{,}14 \cdot 6\,370}{800} \Rightarrow \Delta t = 25 \text{ h}$$

Resposta: alternativa **c**.

10 a) Esta questão é importante para reforçar o conceito de velocidade vetorial: módulo, direção e sentido. Se somente o sentido do vetor velocidade varia, podemos dizer que houve variação na velocidade vetorial? A resposta é: **sim**! Basta relembrar a condição para que dois vetores sejam iguais.

Se a velocidade inicial é de 20 m/s, horizontal para a direita, e a velocidade final, de 20 m/s, horizontal para a esquerda, a variação vetorial da velocidade é de 40 m/s, horizontal para a esquerda, conforme figura.



b) O módulo da aceleração vetorial média da bola é dado por:

$$|\vec{a}_m| = \frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t} \Rightarrow |\vec{a}_m| = \frac{40}{0{,}1} \Rightarrow |\vec{a}_m| = 400 \text{ m/s}^2$$

11 a) Em todas elas:

- Reta das Arquibancadas – O módulo do vetor velocidade varia, mas a direção e o sentido permanecem constantes;
- Curva do Sol – O módulo, a direção e o sentido do vetor velocidade variam;
- Reta Oposta – O módulo do vetor velocidade varia, mas a direção e o sentido permanecem constantes;
- Curva do Laranja – O módulo do vetor velocidade permanece constante, mas a direção e o sentido variam.

b) A aceleração tangencial existe na Reta das Arquibancadas, na Curva do Sol e na Reta Oposta.

c) A aceleração centrípeta existe na Curva do Sol e na Curva do Laranja.

12 a) De acordo com a figura dada, se a engrenagem maior girar no sentido horário, a menor girará no sentido **anti-horário**.

b) Sendo o raio diretamente proporcional ao número de dentes, o raio da engrenagem maior é o triplo do raio da engrenagem menor, pois a engrenagem maior possui o triplo de dentes que a menor ($R_{Maior} = 3 \cdot R_{menor}$). Assim:

$\boldsymbol{F_M} \cdot \boldsymbol{R_M} = \boldsymbol{f_m} \cdot \boldsymbol{R_m} \Rightarrow 1 \cdot 3 \cdot R_m = f_m \cdot R_m \Rightarrow f_m = 3$

Portanto, a engrenagem menor efetua 3 voltas.

13 No trecho circular, o carro e seu piloto estão em movimento circular uniforme, cuja aceleração centrípeta não pode exceder 6 vezes a aceleração da gravidade (10 m/s²), ou seja, deve ter valor máximo de 60 m/s². Assim:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{r} \Rightarrow 60 = \frac{v^2}{240}$$

$v^2 = 240 \cdot 60 = 14\,400 \Rightarrow v = 120$ m/s

A velocidade máxima que pode ser desenvolvida é de 120 m/s.

14 Esta questão deve ser utilizada para a discussão de uma prática comum pelos aficionados por carros: a troca de rodas e pneus originais por outros mais esportivos. O que isso implica?

A **redução** do diâmetro do conjunto roda-pneu faz com que o número de voltas, para percorrer certa distância, seja maior e,

consequentemente, a velocidade indicada no velocímetro será maior do que a real.

Por outro lado, o **aumento** do diâmetro do conjunto roda-pneu faz com que o número de voltas, para percorrer a mesma distância, seja menor e, consequentemente, a velocidade indicada no velocímetro será **menor** do que a real.

Os dois procedimentos podem causar problemas ao carro, mas, certamente, o aumento no diâmetro acarreta um problema extra: o motorista pode ser induzido a aumentar ainda mais a velocidade do carro.

Nessas condições, temos:

a) A indicação do velocímetro será **menor** do que a real.

b) Como o aumento no diâmetro foi de 10% (passou de 20 polegadas para 22 polegadas), podemos dizer que a velocidade real do carro é 10% maior do que a indicada no velocímetro, ou seja, **110 km/h**.

15 Ambas as pessoas têm mesma velocidade angular, mas observe que a pessoa *A*, situada na linha do equador, possui velocidade escalar maior do que a pessoa *B*, situada na latitude 60°, por estar mais distante do eixo de rotação.

Assim, o fato de Alcântara, no Maranhão, estar localizada próxima à linha do equador faz com que a velocidade escalar do satélite nesse ponto seja maior do que se o lançamento fosse feito de um outro ponto, afastado da linha do equador.

Respostas: $\omega_A = \omega_B$ e $v_A > v_B$

16 a) Devemos destacar que, quando a transmissão do movimento circular é feita por contato entre discos (engrenagens), ocorre inversão no sentido do movimento. Assim, se a engrenagem *A* gira no sentido horário, a engrenagem *B* gira no sentido anti-horário e a engrenagem *C*, que faz contato com a engrenagem *B*, gira no **sentido horário**.

b) Para as engrenagens *A* e *B*, em contato, podemos escrever:

$f_A \cdot r_A = f_B \cdot r_B$

Sendo o raio igual à metade do diâmetro, obtemos:

$10 \cdot 25 = f_B \cdot 50 \Rightarrow f_B = 5$ rps

E, para o contato entre as engrenagens *B* e *C*, obtemos:

$f_B \cdot r_B = f_C \cdot r_C \Rightarrow 5 \cdot 50 = f_C \cdot 10 \Rightarrow f_C = 25$ rps

17 A esfera *B* apresenta dois movimentos simultâneos: o primeiro, na vertical, no qual ela acompanha o movimento da esfera *A*, e o segundo, na horizontal, com velocidade v_0 constante.

O tempo de queda da esfera *A* é dado por:

$H = \frac{g \cdot t^2}{2} \Rightarrow 1{,}8 = \frac{10 \cdot t^2}{2} \Rightarrow t_A^2 = \frac{2 \cdot 1{,}8}{10} \Rightarrow t_A = 0{,}60$ s

Como os movimentos são simultâneos: $t_B = t_A = 0{,}60$ s.

Para o movimento da esfera *B* na horizontal, escrevemos:

$X = v_0 \cdot t_B \Rightarrow 1{,}2 = v_0 \cdot 0{,}60 \Rightarrow v_0 = 2{,}0$ m/s

Resposta: alternativa **d**.

18 Para que o jogador de golfe vença o obstáculo, o alcance do seu lançamento deve ser igual ou maior que 80 m. Para o cálculo do alcance, precisamos do tempo total de permanência da bola no ar. Assim, temos:

$t_T = 2 \cdot t_S = 2 \cdot \frac{v_0 \cdot \text{sen } 35°}{g} \Rightarrow t_T = 2 \cdot \frac{30 \cdot 0{,}57}{10} \Rightarrow t_T = 3{,}4$ s.

E o alcance é dado por:

$x = v_0 \cdot \cos 35° \cdot t_T \Rightarrow x = 30 \cdot 0{,}82 \cdot 3{,}4 \Rightarrow x = 83{,}6$ m

Portanto, o jogador **conseguirá vencer** o obstáculo.

19 Para que os alunos possam traçar a parábola de segurança, alguns cálculos são necessários.

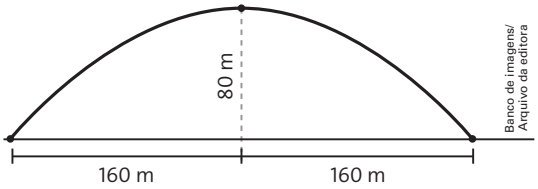
- Altura máxima:

$h_{máx.} = \frac{(v_0)^2}{2g} \Rightarrow h_{máx.} = \frac{(40)^2}{2 \cdot 10} \Rightarrow h_{máx.} = 80$ m

- Alcance máximo:

$A_{máx.} = 2 \cdot h_{máx.} \Rightarrow A_{máx.} = 2 \cdot 80 \Rightarrow A_{máx.} = 160$ m

Com esses dados, traçamos a parábola de segurança (figura seguinte).



As coordenadas do foco de incêndio são: $x = 120$ m e $y = 35$ m. Vamos verificar se esse ponto pertence à área delimitada pela parábola:

Para $x = 120$ m, temos:

$x = v_0 \cdot \cos 53° \cdot t \Rightarrow 120 = 40 \cdot 0{,}60 \cdot t \Rightarrow t = 5{,}0$ s

Para $t = 5{,}0$ s, o valor de *h* é:

$h = h_0 + v_0 \cdot \text{sen } 53° \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow h = 0 + 40 \cdot 0{,}80 \cdot 5 - 5 \cdot (5)^2 \Rightarrow h = 35$ m

Portanto, o jato de água atinge o foco de incêndio, pois ele se localiza exatamente sobre a parábola de segurança.

Retomando

20 Como cada volta tem 27 km, a distância percorrida em 11 000 voltas é:

$\Delta S = 27 \cdot 11000 = 297000$ km, em 1 s

Comparando com a velocidade da luz, temos:

$\frac{v}{c} = \frac{297000}{300000} = 0{,}99$

Assim, $v = 99\%$.

Resposta: alternativa **d**.

21 Com base nas figuras dadas, escrevemos: $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\omega_C}{\omega_D}$.

Sendo $v = \omega \cdot r$ e como $r_C = r_D$, a expressão acima pode ser escrita como:

$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{v_C}{v_D}$ (1)

Posição 1: $v_B = v_C$

Posição 2: $v_A = v_D$

Sendo $\omega_A = \omega_B \Rightarrow \frac{v_A}{r_A} = \frac{v_B}{r_B} \Rightarrow \frac{v_D}{r_A} = \frac{v_C}{r_A}$ (2)

De (1) e (2), obtemos:

$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_B}{r_A} = 2$

Resposta: alternativa **d**.

22 Na montagem *Q*, as velocidades lineares das polias 1 e 3 são iguais:

$v_1 = v_3 \Rightarrow f_1 \cdot r_1 = f_3 \cdot r_3$

Sendo $r_3 > r_1 \Rightarrow f_3 < f_1$

Resposta: alternativa **a**.

CAPÍTULO 5 – As leis de Newton para os movimentos

As duas questões colocadas na abertura deste capítulo (O que é necessário para colocar um corpo em movimento? O que é preciso para manter um corpo em movimento?) sintetizam os objetivos a serem alcançados. Esperamos que, ao final do capítulo, os alunos estejam aptos a identificar em uma dada situação-problema as informações ou variáveis relevantes e possíveis estratégias para resolvê-la. Assim, diante de um fenômeno envolvendo forças e movimento, é possível:

- identificar as interações entre o objeto de estudo e o meio externo e os efeitos dessas interações no movimento;
- reconhecer a relação entre diferentes grandezas, ou relações de causa-efeito, para ser capaz de estabelecer previsões. Por exemplo, a relação entre força e aceleração, para prever a distância percorrida por um carro após ser freado;
- construir uma visão sistemática dos diversos tipos de interação e das diferentes naturezas de fenômenos da Física para poder fazer uso desse conhecimento de forma integrada e articulada.

Inicialmente, sugerimos que você coloque algumas questões, como as apresentadas a seguir (incluindo as duas acima) e permita que os alunos se manifestem livremente, sem interferência. Peça aos alunos para anotarem as respostas. No final do capítulo, volte a essas questões e verifique se os alunos mudariam ou não suas respostas.

1. Para aplicar uma força em um corpo é preciso estar em contato com ele?
2. Qual é o significado de força resultante? É o mesmo que resultante das forças?
3. Qual é a associação correta: "força constante, velocidade constante" ou "força constante, velocidade variável"?
4. Se aplicarmos uma força em um corpo, sofremos também a ação dessa força?
5. Se um pugilista leva um soco do adversário, ele precisa reagir ou a reação é inerente ao processo?

Física tem História

Este resumo histórico completa o trabalho iniciado no Capítulo 3, Tópico 1, onde apresentamos "Um pouco da história dos movimentos". Ele é fundamental para que os alunos tenham uma visão mais abrangente sobre o conceito de movimento. Sugerimos que você solicite aos alunos a leitura antecipada do texto. Esse procedimento propiciará maior participação deles durante a aula.

Nosso objetivo é que o aluno compreenda o conhecimento científico e tecnológico como resultado de uma construção humana, inserido em um processo histórico e social.

Após os comentários sobre o texto, solicite aos alunos que respondam à questão proposta na abertura do capítulo: as leis de Newton podem ser consideradas uma "descoberta" das leis da Natureza ou uma "construção humana" de uma visão da ciência?

Uma pergunta que pode surgir nessa aula diz respeito à lenda da maçã que caiu na cabeça de Newton: verdade ou mito?

Existem controvérsias a respeito. Alguns historiadores afirmam que sim, a queda da maçã teria sido o *insight* para Newton desenvolver sua teoria; outros, que se trata realmente de uma lenda criada pelo próprio Newton. Nesse sentido, veja o comentário dos historiadores J. Fontaine e A. Simaan:

> [...] A descoberta da lei da atração universal é uma obra de juventude e está associada à imagem da maçã caindo. Seria verdadeira essa história? Alguns afirmam tratar-se de uma lenda, veiculada por ele próprio (Newton) no final da vida. Seus contemporâneos, curiosos de conhecer a gênese da descoberta, ficaram maravilhados ao saber dessa história. A simplicidade do relato, dando de Newton a imagem de um ser excepcionalmente precoce, foi julgada satisfatória pelo grande público, feliz por "compreender" alguma coisa daquilo.
>
> SIMAAN, Arkan; FONTAINE, Joelle. *A imagem do mundo*: dos babilônios a Newton. Tradução de Dorothée de Bruchard. São Paulo: Companhia das Letras, 2003. p. 39.

No final do texto, colocamos três questões para o aluno refletir e responder. Como se trata de questões abertas, todas as respostas devem ser consideradas. A seguir, apresentamos alguns comentários sobre elas.

1. Nesta questão é importante retomarmos o texto. Para Aristóteles, o Universo é finito e constituído de duas regiões distintas: a região sublunar e a região supralunar.

   Assim, os movimentos naturais e violentos só acontecem na região sublunar. Na região supralunar, o único movimento possível é o movimento circular e uniforme, pois sua trajetória é perfeita.

2. Na linguagem cotidiana, a palavra **inércia** possui um significado diferente do usado nas Ciências Físicas. Isso pode ser verificado nos dicionários que, além da científica, apresentam as seguintes definições:

   > **Inércia:** Falta de reação, de iniciativa; imobilismo, estagnação (*a administrativa pode parar um país*); estado de abatimento caracterizado pela ausência de reação, pela falta de energia física ou moral; apatia, indolência, prostração; [...] falta de habilidade; inaptidão, incapacidade.
   >
   > HOUAISS, Antônio. *Dicionário Houaiss*. 1. ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009.

   > **Inércia:** Falta de ação, de atividade; letargia, torpor; Indolência; preguiça: "Pouco a pouco foi-o tomando um cansaço, uma inércia, uma infinita lassidão da vontade" (Eça de Queirós, *Os Maias*).
   >
   > FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa*. Coord.: Marina Baiard Ferreira, Margarida dos Anjos. 4. ed. Curitiba: Positivo, 2009.

3. A Física de Aristóteles é a Física das "tendências naturais". Os corpos se movimentam buscando seu lugar natural, dirigindo-se para o centro da Terra ou afastando-se dele, dependendo de o corpo ser pesado ou leve. Para Aristóteles, não existe o movimento sem uma causa; se um corpo se movimenta com velocidade constante é porque ele está sob a ação de uma causa constante (força).

   A física de Newton está alicerçada no conceito de **inércia**, tendência que os corpos têm de manter seu estado de movimento ou de repouso. Para Newton, não há necessidade de uma causa constante para manter um corpo em movimento com velocidade constante. As forças são associadas às variações de velocidade.

1. Conceito de força

Para a introdução do conceito de força, você poderá explorar as concepções espontâneas dos alunos a respeito do que eles sabem sobre as forças e como elas interagem. É importante partir do conhecimento prático do aluno para a conceituação científica. Embora a palavra *força* tenha diferentes significados, parece-nos que o conceito físico é intuitivo. A associação com um puxão ou um empurrão é imediata; isso nos remete a um contato físico. Mas é importante ressaltar o fato de que dois corpos podem interagir, ou

seja, trocar forças, sem que estejam em contato. Nesse caso, temos a chamada ação a distância. Você poderá utilizar um imã para demonstrar essa ação a distância.

A caracterização de uma força como uma grandeza vetorial é outro ponto a ser destacado. Para exemplificar a determinação da força resultante de um sistema de forças dadas, sugerimos que você resolva, com os alunos, o exercício 2.

Embora neste capítulo utilizaremos somente as forças gravitacional e eletromagnética, optamos por apresentar todas as interações fundamentais conhecidas até o momento: gravitacional, eletrofraca (eletromagnética e nuclear fraca) e nuclear forte.

Um exemplo interessante para ilustrar as intensidades das forças gravitacional e eletromagnética que você poderá utilizar em sala de aula encontra-se no livro *O Universo elegante*, p. 26-27, do físico Brian Greene:

> [...] Imagine que você tenha um elétron na mão esquerda e outro na mão direita e procura aproximar ambas as partículas, que têm cargas elétricas idênticas. A atração gravitacional mútua entre elas favorece a aproximação e, por outro lado, a repulsão eletromagnética as afasta. Quem ganha? É covardia: a repulsão eletromagnética é 1 milhão de bilhões de bilhões de bilhões de bilhões de vezes (10^{42}) mais forte! Se o seu braço direito representasse a intensidade da força da gravidade, o seu braço esquerdo teria que ser maior que todo o universo para representar a intensidade da força eletromagnética. A única razão pela qual a força eletromagnética não suplanta totalmente a força da gravidade no mundo à nossa volta é que quase todas as coisas contêm quantidades iguais de carga elétrica positiva e negativa, e as forças cancelam-se mutuamente. Por outro lado, como a gravidade sempre atrai, não há uma força oposta que a cancele – quanto mais matéria, mais atração gravitacional. Mas essencialmente a gravidade é uma força extremamente débil.

2. Força peso e força de contato

Por tratar-se de um tópico fundamental para o entendimento de vários fenômenos que ocorrem na natureza, sugerimos a apresentação em duas etapas. Na primeira, as forças peso e contato com a resolução do exercício 4. Na segunda etapa, os conceitos de força normal e de atrito, componentes da força de contato, com as resoluções comentadas dos demais exercícios.

A seguir, apresentamos uma tabela de coeficientes de atrito estático e dinâmico. Embora todos os valores sejam aproximados, a tabela será útil para você comentar sobre a dependência do coeficiente de atrito com a natureza das superfícies em contato.

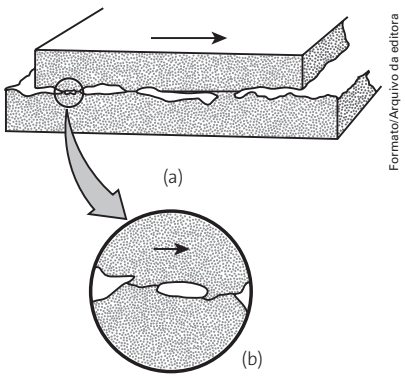
Valores aproximados de coeficientes de atrito estático e dinâmico entre alguns materiais

Natureza das superfícies	Coeficiente de atrito estático	Coeficiente de atrito dinâmico
Aço sobre aço	0,74	0,57
Alumínio sobre aço	0,61	0,47
Borracha sobre concreto	1,0	0,80
Madeira sobre madeira	0,25 – 0,50	0,20
Vidro sobre vidro	0,94	0,40

Fonte: RAYMOND, A. S.; JEWETT JR., J. W. *Princípios de Física.* Mecânica clássica. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p. 143. v. 1.

Julgando necessário um aprofundamento sobre força de atrito, sugerimos o texto a seguir, que poderá ser apresentado ao aluno ou utilizado somente como informações em sala de aula:

> [...] Basicamente, a origem da força de atrito é eletromagnética, agindo entre os átomos localizados nas superfícies de contato entre os corpos. Se dois metais extremamente polidos forem reunidos em ambiente de vácuo, não haverá qualquer dúvida sobre a possibilidade de um escorregar sobre outro. Eles soldam-se instantaneamente, formando uma única peça. Se as superfícies planas de dois blocos usados em usinagem para calibração forem colocadas em contato, elas ficarão tão aderidas que, para separá-las, será necessário grande esforço. No entanto, em condições ordinárias, este contato íntimo, átomo com átomo, não é possível. Mesmo uma superfície de metal bem polida está muito longe de ser plana, conforme mostra a figura seguinte. Além disso, a superfície de todos os objetos com os quais entramos em contato são formadas por óxidos e outros compostos.
>
> Quando duas superfícies são reunidas, apenas os pontos altos se tocam. [...] A área de contato real é muito menor do que a área microscópica aparente, talvez por um fator igual a 10^4 ou mais. Muitos dos pontos de contato tornam-se soldas a frio. Quando as superfícies são empurradas uma em relação à outra, a força de atrito que atua sobre elas está associada à ruptura de milhares destas soldas minúsculas, que são refeitas a medida que outros contatos forem sendo realizados (veja a figura seguinte).



Formato/Arquivo da editora

Representação do mecanismo do atrito quando há deslizamento. (a) A superfície superior está escorregando para a direita sobre a inferior. (b) Detalhe mostrando dois pontos onde ocorreu uma solda a frio. É necessário aplicarmos uma força para quebrar essas soldas e manter o movimento.

> Experiências feitas com traçadores radioativos mostram que, ao arrastarmos uma superfície seca de metal sobre outra, pequenos fragmentos são rompidos em cada uma delas. O desgaste dos anéis de segmento de um pistão foi testado por meio de anéis que foram tornados radioativos pela exposição à radiação proveniente de um reator nuclear. O material rompido proveniente dos anéis é arrastado pelo óleo lubrificante, podendo, então, ser detectado por sua radioatividade.
>
> HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. *Fundamentos de Física*. Mecânica. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994. p. 98-99. v. 1.

Para refletir

As respostas dos alunos a esta questão serão úteis para avaliarmos o entendimento dos conceitos de força de atrito estático e força de atrito dinâmico.

3. Força de tração e força elástica

Na apresentação da força de tração, a ideia central é a transmissão de força. O fato de usarmos fios ideais (inextensível e com massa desprezível) não conduz a situações irreais; são simplificações que usamos para facilitar o entendimento.

Julgamos necessário o uso de diagrama de forças. A construção desses diagramas tem como finalidade verificar o entendimento de como se processam as interações mecânicas.

Algumas vezes, em sala de aula, somos questionados sobre determinado assunto que os alunos ouviram falar. Nem sempre temos as respostas prontas, o que de fato não é obrigatório. Por exemplo, o que a "teoria das cordas" tem a ver com as cordas que usamos para tracionar objetos?

A resposta para essa questão encontramos no livro *O Universo elegante*, de Brian Greene, publicado pela Companhia das Letras, em 2001. A apresentação do livro nos dá ideia do assunto:

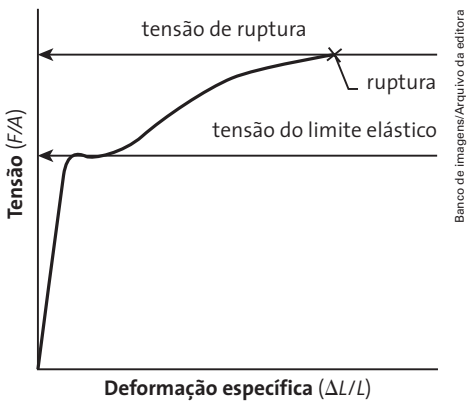
> No interior mais fundo da matéria, vibram cordas como as de um instrumento musical. Tudo o que existe e acontece no mundo, no universo, surge das vibrações dessas entidades centenas de bilhões e bilhões de vezes menores do que o núcleo de um átomo. A ideia de "cordas" abriu para a ciência a perspectiva de alcançar uma compreensão final sobre a estrutura e o funcionamento do universo, pois ela permite compatibilizar os dois pilares antagônicos da física moderna: a relatividade geral e a mecânica quântica.

Embora a relatividade e a mecânica quântica ainda não tenham sido abordadas, se necessário, podemos tecer alguns comentários sobre o assunto.

Ao abordar a força elástica, sugerimos que você dê um tratamento especial aos chamados **corpos rígidos**.

Na realidade, a classificação corpo rígido é teórica, pois todo corpo apresenta, de certa forma, elasticidade. Vejamos um exemplo: tracionando-se uma barra de aço, dificilmente percebemos um aumento em seu comprimento, mas ele acontece. Do mesmo modo que os corpos chamados elásticos, se a tensão aplicada à barra de aço for menor que a do limite elástico, a barra retorna ao seu comprimento original se a tração em suas extremidades for retirada. Isto pode ser evidenciado no gráfico, mostrado a seguir.

Gráfico da tensão em função da deformação específica $\left(\frac{\Delta L}{L_0}\right)$ para um cilindro de aço



Fonte: HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. *Fundamentos de Física.* Gravitação, Ondas e Termodinâmica. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994. p. 10.

Observe no gráfico que a deformação é permanente quando a tensão ultrapassa o limite elástico, e acontece a ruptura da barra se a tensão ultrapassar a tensão de ruptura.

4. Primeira lei de Newton

Para a ciência de antes do século XVII, o estado natural de um corpo era o repouso. A explicação era simples: todos os corpos colocados em movimento na superfície da Terra tendiam ao repouso, se uma força não fosse aplicada continuamente sobre ele. Ainda hoje as pessoas imaginam assim, pois é isso que observamos em nosso cotidiano. Então, como mudar essa concepção que os alunos trazem da observação do cotidiano?

Não basta apenas definir a primeira lei de Newton. É preciso, por meio de exemplos, **evidenciar** as causas que levam um corpo ao repouso. Julgamos que, para isso, o ponto de partida é o entendimento da propriedade fundamental da matéria, denominada inércia.

Para refletir

O ônibus somente consegue se movimentar devido ao atrito existente entre suas rodas e o solo. Na eventualidade da não existência de atrito, o ônibus não sairia do lugar; na linguagem comum, dizemos que as rodas "patinam".

5. Segunda lei de Newton

Sugerimos que você adote o mesmo procedimento do tópico anterior: a utilização de exemplos práticos e do cotidiano do aluno para estabelecer as relações entre força, massa, variação de velocidade e intervalo de tempo, que constituem a segunda lei de Newton.

Normalmente, a grandeza *massa* é apresentada sem maiores explicações. Mas, será que a massa, que nos dá a medida da inércia de um corpo e aparece na segunda lei de Newton (massa inercial), é a mesma que a massa de um objeto obtida em uma balança de pratos iguais (massa gravitacional)?

Se analisarmos a partir dos processos de medida, as massas inercial e gravitacional são totalmente diferentes. Para medir a massa inercial, simplesmente aplicamos uma força no objeto e medimos sua aceleração; para medir a massa gravitacional, colocamos o objeto em um dos pratos de uma balança e massas aferidas no outro prato: usamos a força gravitacional.

Nesse sentido, todas as experiências realizadas para determinar possíveis diferenças entre elas conduziram à mesma conclusão: as massas inercial e gravitacional são equivalentes e proporcionais à quantidade de matéria presente no corpo.

Sugerimos que o Exercício resolvido 1, que explora duas situações para a força resultante, seja comentado em sala de aula, pois ele será útil para estabelecer a relação velocidade constante e força resultante nula.

Física explica

O texto sobre cinto de segurança e *airbag*, além de estabelecer uma relação direta entre teoria e prática, tem como objetivo a conscientização da importância desses dispositivos e a obediência às normas de segurança estabelecidas no *Manual Básico de Segurança no Trânsito*.

Vejamos, então, as respostas para as questões:

1. A utilização do *airbag*, além do cinto de segurança, aumenta ainda mais a segurança dos passageiros no caso de uma freada brusca ou de um acidente.
2. Como está colocada, a palavra *lançado* nos leva a pensar que alguém, ou alguma coisa, lançou o passageiro para fora do

veículo, ou de encontro ao painel, ou ainda de encontro ao volante ou ao para-brisa. Na realidade, isso não acontece. O cinto de segurança estabelece a interação da pessoa com o veículo fazendo com que sua velocidade seja reduzida igualmente à do veículo. Assim, o cinto de segurança evita que a pessoa continue com a velocidade original e se choque com o painel do veículo.

3. Considerando que a altura de cada andar seja 3,0 m, temos que a altura de queda livre será 27,0 m (9 andares). Nessas condições, a velocidade com que o corpo atinge o solo será de:
   $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h \Rightarrow v^2 = 0 + 2 \cdot 10 \cdot 27 \Rightarrow v = 23{,}2$ m/s
   Em km/h, temos: $v = 83{,}5$ km/h
   Esse valor é um pouco maior que o do manual (80 km/h). A diferença pode ser explicada lembrando que, na realidade, existe atrito do corpo com o ar, o que reduz a velocidade de queda.

6. Terceira lei de Newton

A conscientização de que na natureza as forças aparecem aos pares e são fruto da interação entre dois corpos favorece o entendimento da lei da ação e reação. Sugerimos que você comente, em detalhes, o Exercício resolvido 2, do cavalo atrelado à carroça, pois ele é fundamental na ilustração das interações entre corpos e no entendimento da terceira lei de Newton.

A seguir, apresentamos um texto de apoio sobre uma aplicação prática da terceira lei de Newton. Com base nesse texto, você poderá discutir a lei da ação e reação nos dois tipos de avião, movido a hélice e a jato, e nos foguetes. Caso você opte por utilizá-lo em sala de aula, sugerimos que a experiência com a bexiga cheia de ar comentada no texto seja realizada.

Aviões e foguetes

Tanto os aviões como os foguetes movimentam-se de acordo com a terceira lei de Newton, a lei da ação e reação. No caso específico dos aviões movidos a hélice, a propulsão acontece devido à interação entre a hélice e o ar. Acionada por um motor a pistão, a hélice em funcionamento empurra o ar para trás, e este reage, empurrando a hélice para a frente.

No lugar da hélice, alguns aviões modernos utilizam motores a jato. Ao entrar no motor, o ar é comprimido e, nas câmaras de combustão, ele é misturado ao combustível e queima. Devido à alta pressão interna, os gases provenientes da queima da mistura (combustível + ar) são expelidos através do exaustor traseiro com uma velocidade extremamente alta. De acordo com a lei da ação e reação, os gases reagem, impelindo o motor para a frente.

Você pode constatar esse princípio básico de funcionamento dos motores a jato com um balão de borracha, do tipo das bexigas usadas como enfeites em festas, cheio de ar. Ao soltar o balão, o ar escapa pela abertura impulsionando o balão em sentido contrário.

No século passado, quando os primeiros aviões foram projetados, questionou-se se seria possível eles viajarem em regiões consideradas vácuos, onde não haveria ar para a interação. Nos aviões a jato, a interação que provoca o movimento do avião para a frente é entre o motor e os gases expelidos e não entre os gases expelidos e o ar. A função do ar é fornecer o oxigênio que será misturado ao combustível. Se o avião transportar o oxigênio necessário, o voo no vácuo fica ainda melhor.

Em 1942, o lançamento do foguete alemão V-2, desenvolvido por Wernher von Braun, deu início a uma nova era na aeronáutica, que levaria o homem à Lua em 1969. Com os foguetes, a Astronomia experimentou um desenvolvimento sem precedentes. O lançamento de sondas, instrumentos, satélites artificiais e naves tripuladas permitiu ao homem um melhor entendimento tanto da atmosfera que envolve a Terra como do Universo onde vive. Mas, mesmo com toda a sofisticação dos foguetes e naves espaciais, o princípio básico ainda é o mesmo: os foguetes se movimentam queimando combustível e expelindo-o com grande velocidade na forma de gases. Com isso, ganham velocidade, garantidos pela lei da ação e reação.

Após a leitura e discussão do texto, os alunos devem responder às duas questões propostas a seguir:

1. Qual é a diferença básica entre o movimento de um avião movido a hélice e outro que usa um motor a jato?
2. Em 1919, o americano Robert H. Goddard (1892-1945) desenvolveu as bases da teoria de propulsão de foguetes fora da atmosfera terrestre. Um editor de um jornal, na tentativa de ridicularizar o autor, escreveu: "O professor Goddard realmente desconhece a relação entre a ação e a reação e a necessidade de se ter um meio com o qual o foguete reaja, para que o movimento seja possível". Com base no texto acima, o comentário do editor do jornal é procedente? Justifique.

Resolução:

1. No avião movido a hélice, a interação é entre a hélice e o ar que circunda o avião. Já no avião a jato, gases são expelidos para fora do avião e, em consequência, o avião é impulsionado no sentido contrário.
2. O comentário do editor do jornal não procede, pois os foguetes movimentam-se sem a necessidade do ar atmosférico, conforme explicado no texto.

Em construção

Como Einstein, Newton é um dos nomes mais conhecidos do grande público e, com certeza, um dos maiores físicos de todos os tempos. Sua contribuição à ciência é imensa e *Os princípios matemáticos da Filosofia Natural* é considerada uma das mais importantes obras científicas até o século XX.

Muito se tem escrito sobre Newton e um dos pontos mais controversos relaciona-se à sua obra máxima que foi concebida em 1665, considerado o "Ano dos Milagres", mas só publicada vinte anos depois.

Para que os alunos possam destacar os três pontos propostos na pesquisa, sugerimos dois livros em particular:

As sete maiores descobertas científicas da história, de David Eliot Brody e Arnold R. Brody, publicado pela Companhia das Letras, São Paulo, em 1999. Nesse livro, o destaque é para a Parte 1: A gravidade e as leis da Física, páginas 27 a 80.

Gigantes da Física – Uma história da Física moderna através de oito biografias, de Richard Brennan, publicado por Jorge Zahar Ed., Rio de Janeiro, em 1998. Nesse livro, o destaque é para o Capítulo 1: Isaac Newton, páginas 24 a 57.

Trabalho em equipe

Nesta seção, com a pesquisa sobre Isaac Newton, procuramos desenvolver nos alunos a habilidade de elaborar comunicações tanto orais como escritas para relatar, analisar e sistematizar informações científicas sobre a vida e a obra de um cientista. Nesse sentido, sugerimos que o trabalho final dos alunos, divididos em grupos, seja apresentado em forma oral com a utilização de um painel e um relatório escrito, que deverá fazer parte do processo de avaliação do período.

Experimento

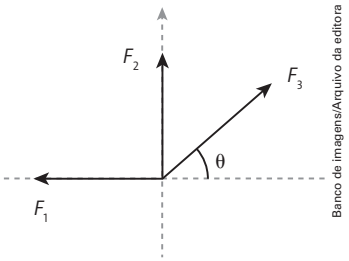
Nesta atividade prática, os alunos terão oportunidade de:

- discutir e elaborar procedimentos para a calibração de uma mola;
- compreender a necessidade de fazer uso de escalas apropriadas na construção de gráficos;
- fazer uso de formas e instrumentos de medida para estabelecer relações entre grandezas físicas.

Sugerimos que, ao final do experimento, cada grupo apresente um relatório escrito ressaltando as dificuldades encontradas e as respostas às questões solicitadas. Esse material poderá ser utilizado por você na avaliação final do projeto.

Atividades complementares

1. (UEPG-PR) Na figura a seguir, três forças de mesma intensidade agem sobre uma partícula. F_1 e F_2 têm orientações fixas, enquanto que a orientação de F_3 é definida segundo um ângulo θ formado com a direção horizontal. Com relação à força resultante sobre a partícula, assinale o que for correto e dê como resposta a soma dos números correspondentes.



Banco de imagens/Arquivo da editora

01. Para qualquer valor de θ, a intensidade da força resultante será dada por:
$F_R = \sqrt{(-F_1 + F_3 \cdot \cos\theta)^2 + (F_2 + F_3 \cdot \text{sen}\,\theta)^2}$

02. Para $\theta = \frac{\pi}{2}$, a intensidade da força resultante será dada por: $F_R = \sqrt{5}F$.

04. Para $\theta = \pi$, a intensidade da força resultante será dada por: $F_R = \sqrt{5}F$.

08. Para $\theta = \frac{3\pi}{2}$, a intensidade da força resultante será dada por: $F_R = F$.

16. Para $\theta = 2\pi$, a intensidade da força resultante será dada por: $F_R = F$.

Resposta: Soma = 31 (01 + 02 + 04 + 08 + 16)

Resolução:

01. **Correta**. No eixo x, temos: $F_{R(x)} = F_3 \cdot \cos\theta - F_1$.
E, no eixo y: $F_{R(y)} = F_2 + F_3 \cdot \text{sen}\,\theta$. Portanto:
$(F_R)^2 = (F_3 \cdot \cos\theta - F_1)^2 + (F_2 + F_3 \cdot \text{sen}\,\theta)^2$.

02. **Correta**. Para $\theta = \frac{\pi}{2} = 90°$, temos: cos 90° = 0 e sen 90° = 1.
Assim, aproveitando a expressão do item 01, obtemos: $(F_R)^2 = (-F_1)^2 + (F_2 + F_3)^2$. Sendo $F_1 = F_2 = F_3 = F$: $F_R = \sqrt{F^2 + 4F^2} \Rightarrow F_R = F\sqrt{5}$

04. **Correta**. Para $\theta = \pi = 180°$, temos: cos 180° = −1 e sen 180° = 0. Assim, substituindo na expressão do item 01, obtemos: $(F_R)^2 = (-F)^2 + (F)^2 \Rightarrow F_R = \sqrt{5}F$.

08. **Correta**. Para $\theta = \frac{3\pi}{2} = 270°$, temos: cos 270° = 0 e sen 270° = −1. Assim, substituindo na expressão do item 01, obtemos: $(F_R)^2 = (-F)^2 - [F + (-F)]^2 \Rightarrow F_R = F$.

16. **Correta**. Para $\theta = 2\pi = 60°$, temos: cos 360° = 1 e sen 360° = 0. Assim, substituindo na expressão do item 01, obtemos: $(F_R)^2 = (-F_1 + F)^2 + (F)^2 \Rightarrow F_R = F$.

2. (UFTM-MG) Analisando as leis de Newton, pode-se concluir corretamente que:

a) O movimento retilíneo e uniforme é consequência da aplicação de uma força constante sobre o corpo que se move.

b) A lei da inércia prevê a existência de referenciais inerciais absolutos, em repouso, como é o caso do centro de nossa galáxia.

c) Para toda ação existe uma reação correspondente, sendo exemplo dessa circunstância a força normal, que é a reação à força peso sobre objetos apoiados em superfícies planas.

d) Se um corpo é dotado de aceleração, esta é certamente consequência da ação de uma força, ou de um conjunto de forças de resultante diferente de zero, agindo sobre o corpo.

e) A força centrífuga é uma força que surge em decorrência da lei da inércia, sobre corpos que obedecem a um movimento circular e que tem como reação a força centrípeta.

Resolução:

a) Incorreta. No movimento retilíneo e uniforme, a força resultante é nula.

b) Incorreta. A lei da inércia prevê a existência de referenciais inerciais, em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme.

c) Incorreta. A força normal e a força peso agem no mesmo corpo: não formam um par ação-reação.

d) **Correta**.

e) Incorreta. A força centrífuga é uma força que surge em decorrência de um movimento acelerado e não forma um par ação-reação com a forca centrípeta.

Resposta: alternativa **d**.

3. (Urca-CE) Numa cartilha de orientação de trânsito afirma-se que, em uma colisão a 90 km/h, uma criança de massa 12 kg exerce uma força de 1500 N contra os braços que a seguram. Sendo $g = 10\ m/s^2$, podemos dizer que a distância percorrida pelo veículo até parar foi estimada em:

a) 1,5 m. b) 2,0 m. c) 2,5 m. d) 3,0 m. e) 3,5 m.

Resolução:

Sendo 90 km/h = 25 m/s. A aceleração durante a frenagem é:

$F_R = m \cdot a \Rightarrow 1500 = 12a \Rightarrow a = 125\ m/s^2$

E a distância até parar é dada por:

$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S \Rightarrow 0 = 25^2 + 2 \cdot (-125) \cdot \Delta S \Rightarrow \Delta S = 2{,}5\ m$

Resposta: alternativa **c**.

4. (Unemat-MT) A velocidade no Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) não varia no decorrer do tempo, ou seja, ela permanece constante em módulo, direção e sentido. Logo, o $\Delta\vec{v}$ será nulo para qualquer intervalo de tempo e a aceleração será zero. Enquanto que no Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV) a aceleração é constante, o que significa que a variação da velocidade no decorrer do tempo é uniforme em módulo, direção e sentido, sendo que $\Delta\vec{v}$ será diferente de zero.

A respeito das forças $\vec{F}$ que atuam no MRU e MRUV, pode-se afirmar que:

a) As forças que atuam nos dois movimentos são diferentes de zero.

b) As forças que atuam nos dois movimentos são iguais a zero.

c) A resultante das forças que atuam no MRU é igual a zero e a resultante das forças que atuam no MRUV é diferente de zero.

d) A resultante das forças que atuam no MRU é diferente de zero e a resultante das forças que atuam no MRUV é igual a zero.

e) Não existem forças atuando no MRU e no MRUV.

Resolução:

a) Incorreta. No MRU, a força resultante é nula.

b) Incorreta. No MRUV, a força resultante é diferente de zero.

c) **Correta**.

d) Incorreta. No MRU: $F_R = 0$; no MRUV: $F_R \neq 0$.

e) Incorreta. No MRU, podem existir forças, mas a resultante é nula. No MRUV, a força resultante é diferente de zero.

Resposta: alternativa **c**.

Resoluções dos exercícios

1 A frase: "Você não pode tocar sem ser tocado!" corrobora a afirmação de que na Natureza as forças agem aos pares, sendo fruto da interação entre dois corpos e atuando simultaneamente em ambos.

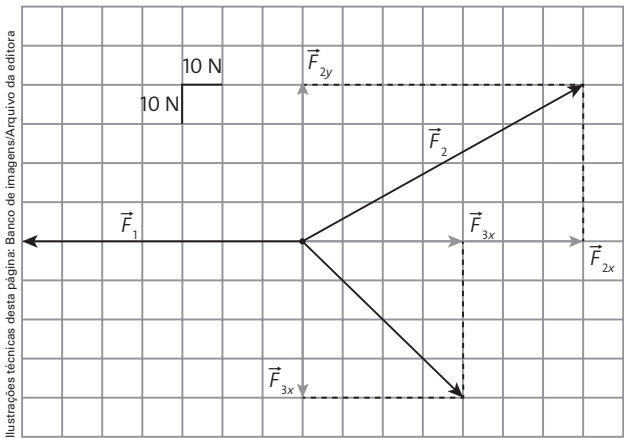
2 De acordo com a escala dada na figura, a força $\vec{F}_2$ pode ser decomposta em duas: $\vec{F}_{2x}$, de 70 N, horizontal para a direita, e $\vec{F}_{2y}$, de 40 N, vertical para cima. Podemos, também, decompor a força $\vec{F}_3$: uma componente $\vec{F}_{3x}$ de 40 N, horizontal para a direita, e uma componente $\vec{F}_{3y}$, vertical para baixo de 40 N.

Assim, na horizontal, obtemos uma resultante dada por:

$R_x = F_{2x} + F_{3x} - F_1 \Rightarrow R_x = 70 + 40 - 70 \Rightarrow R_x = 40$ N, horizontal para a direita

E, na vertical, uma resultante dada por:

$R_y = F_{2y} - F_{3y} \Rightarrow R_y = 40 - 40 \Rightarrow R_y = 0$



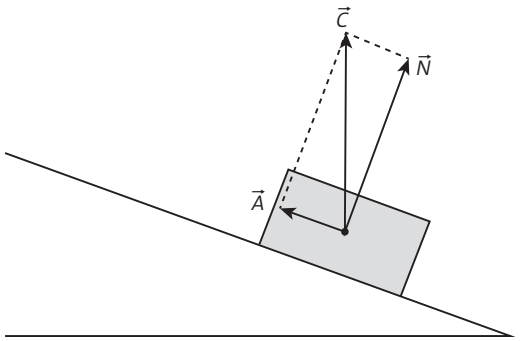
Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

Portanto, uma força de intensidade **40 N** produzirá o mesmo efeito que as três forças dadas.

3 A atração da Terra sobre um corpo, denominada força peso, é um exemplo da interação gravitacional. Nela interagem o planeta e o corpo em questão. Já a resistência do ar é fruto de uma interação entre as moléculas do corpo e as moléculas de ar que oferecem resistência, sendo um exemplo da interação eletrofraca.

4 a) A rampa exerce no carro uma força de contato $\vec{C}$ que, em módulo, é igual ao módulo da força peso do carro.

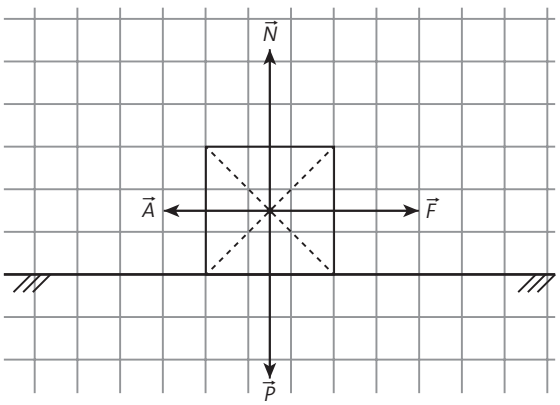
b) A figura ilustra a força de contato aplicada pela rampa no carro e suas componentes: normal ($\vec{N}$) e atrito ($\vec{A}$).



5 a) Antes de a pessoa empurrar, as forças que agem na caixa, em repouso sobre uma superfície horizontal, são duas: a força peso (interação com a Terra) e a força de contato (interação com a superfície de apoio).

A partir do instante em que a pessoa empurra a caixa, esta fica sob a ação de três forças: peso ($\vec{P}$), contato ($\vec{C}$), e a força ($\vec{F}$) aplicada pela pessoa.

b) Na figura seguinte, que mostra as forças que agem na caixa, a força de contato entre a caixa e a superfície horizontal está representada pelas suas componentes: normal e atrito.



Por facilidade, as forças foram mostradas no centro de gravidade da caixa.

Para um coeficiente de atrito igual a 0,2 e, de acordo com a figura $N = P$, a intensidade da força de atrito máximo é dada por:

$A_{máx.} = \mu_e N = \mu_e P \Rightarrow A_{máx.} = 0{,}2 \cdot 300 \Rightarrow A_{máx.} = 60$ N

Então, para colocar a caixa em movimento, a intensidade da força aplicada pela pessoa deve ser **maior do que 60 N**.

6 A força de atrito é contrária à tendência de movimento de um corpo. Assim, para uma pessoa subindo uma rampa, a tendência de seus pés é escorregar rampa abaixo. Portanto, a força de atrito age no sentido de evitar esse escorregamento, sendo paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento da pessoa.

Resposta: alternativa **c**.

7 a) No Livro do Aluno, no texto deste tópico, encontramos: **força de tração** – um par de forças que age nos extremos de um fio, ou cabo, mantendo-o tenso. Na figura dada, o dinamô-

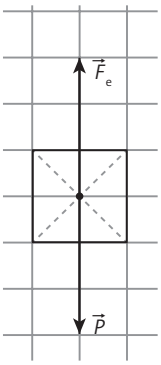
metro está tracionado, ou seja, um par de forças de 100 N está aplicado em suas extremidades. Portanto, a indicação do dinamômetro é **100 N**.

b) O dinamômetro continua indicando 100 N, sendo que o par de forças é aplicado, em uma das extremidades pelo bloco suspenso e, na outra extremidade, pela parede.

8 a) No lustre, suspenso por uma corrente presa ao teto de uma sala, agem duas forças: a força **peso** $\vec{P}$ (interação lustre-Terra) e a força de **tração** $\vec{T}$ (interação corrente-lustre). Como o lustre está em repouso, temos:
$T = P = m \cdot g \Rightarrow T = P = 20 \cdot 10 \Rightarrow T = P = 200$ N

b) A corrente está tracionada por um par de forças equivalentes aplicadas às suas extremidades; uma delas, pelo lustre, e a outra, pelo teto da sala. A tração na corrente é 200 N, mesmo valor do peso sustentado pela corrente.

9 a) No bloco agem duas forças: a força peso e a força elástica, conforme mostra a figura.



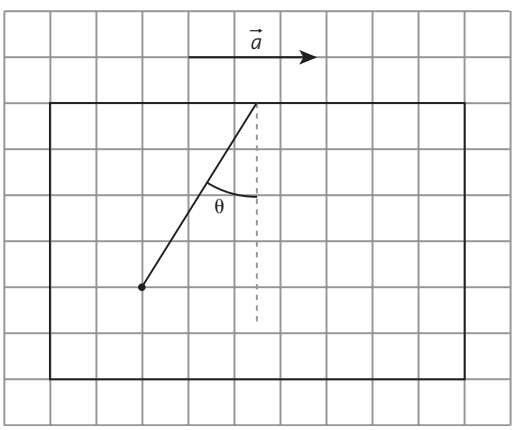
Banco de imagens/Arquivo da editora

b) Como as forças estão equilibradas, temos:
$P = F_e = k \cdot x \Rightarrow P = F_e = 400 \cdot 0{,}05 \Rightarrow P = F_e = 20$ N.

10 Desprezando-se todas as formas de atrito, a velocidade da bola permanece constante, pois a superfície é horizontal.

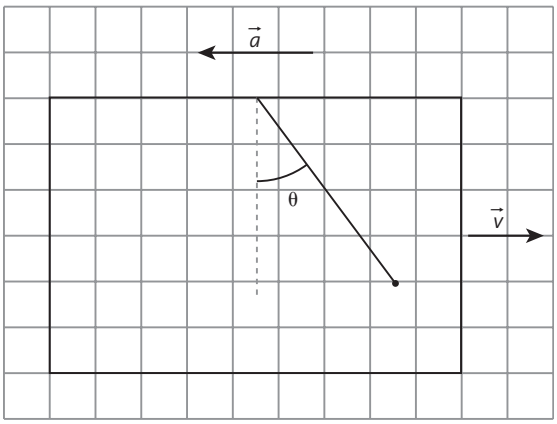
11 a) Na esfera agem duas forças: peso e tração. Mas, como o pêndulo se mantém na vertical, essas duas forças se equilibram e, portanto, a força resultante na esfera é nula. Isso caracteriza a primeira lei de Newton, ou a lei da inércia: a esfera pode estar parada ou em movimento retilíneo e uniforme. Como a esfera está ligada ao trem, o mesmo pode ser dito do trem: ele pode estar parado ou pode estar em movimento retilíneo e uniforme. Assim, somente com base nas informações fornecidas, não é possível dizer se o trem está parado ou em movimento.

b) No instante em que o trem acelera no sentido indicado pela seta, a esfera tende a permanecer em sua posição inicial. Isso faz com que o fio se incline, conforme mostra a figura.



Banco de imagens/Arquivo da editora

c) Se o trem, estando em movimento uniforme no sentido da seta, sofrer a ação dos freios, ele ficará sob a ação de uma aceleração em sentido contrário. A esfera do pêndulo que estava na vertical devido ao movimento retilíneo e uniforme tenderá a permanecer neste estado. Nesse caso, o fio se inclina e a esfera do pêndulo assume a posição mostrada na figura seguinte.



Banco de imagens/Arquivo da editora

12 a) Devemos esclarecer que a primeira lei de Newton, a lei da inércia, estabelece que, se um corpo movimenta-se com velocidade constante, em módulo, direção e sentido, não existe **força resultante** agindo sobre ele.

b) Podem existir forças agindo sobre o corpo, desde que a resultante seja nula.

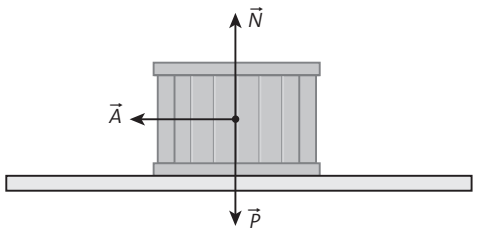
13 a) A mala não se movimenta em relação ao ônibus, pois ela se movimenta com a mesma velocidade vetorial do ônibus e as forças que agem sobre ela estão equilibradas. Porém, em relação ao solo, a mala se movimenta, pois ela acompanha o movimento do ônibus.

b) Vamos desconsiderar o atrito da mala com o bagageiro. Se o ônibus vira para a direita, a mala tende a continuar seu movimento original. Como ela não está rigidamente ligada ao ônibus, ela prossegue em movimento retilíneo e uniforme, ou seja, a mala se move em direção contrária.

c) O ônibus, em relação ao solo, possui aceleração e, nesse caso, não pode ser considerado um referencial inercial.

14 Se a variação de velocidade e o intervalo de tempo são os mesmos para os dois móveis (automóvel e caminhão), então, a aceleração é a mesma para os dois. Mas, como a massa do caminhão é maior do que a massa do automóvel, concluímos que a força resultante no caminhão é maior do que no automóvel, pois a força resultante é o produto da massa pela aceleração.

15 Antes da aplicação dos freios, a velocidade do caminhão, e também da caixa, é constante. Portanto, a força resultante na caixa é nula. Durante a aplicação dos freios, para explicar porque a caixa manteve-se em repouso em relação à carroceria do caminhão, precisamos construir o diagrama de forças na caixa.



Formato/Arquivo da editora

Observe, na figura, que:

1. A força de contato entre a caixa e a carroceria está representada por suas componentes: normal e atrito;
2. O sentido da força de atrito é para a esquerda, pois a tendência da caixa é deslizar para a direita devido à aplicação dos freios.

Do diagrama de forças, concluímos que a força de atrito é a força resultante na caixa. Assim, a caixa está acelerada e essa aceleração é exatamente igual à aceleração do caminhão, em relação ao solo. Conclusão: a caixa sofre a mesma desaceleração do caminhão e, portanto, não se movimenta em relação a ele. Assim, temos:

I. **Correta**.

II. Incorreta. A força de atrito faz o papel de força resultante.

III. **Correta**.

$$F_R = m \cdot a \Rightarrow F_R = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = 300 \cdot \frac{|0 - 20|}{10} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_R = 600 \text{ N}$$

16 A velocidade de 90 km/h é igual a 25 m/s. De acordo com a segunda lei de Newton, o módulo da força é dado por:

$$F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow F = 1200 \cdot \frac{|0 - 25|}{10} \Rightarrow F = 3\,000 \text{ N}$$

$F = 3 \cdot 10^3$ N. Portanto, a ordem de grandeza é **10^3**.

17 A função do *air bag* é aumentar o intervalo de tempo de colisão entre o passageiro e o carro, reduzindo proporcionalmente, assim, a intensidade da força recebida pelo passageiro.

18 Destacamos as seguintes forças:

- Peso ($\vec{P}$), vertical para baixo; interação do carro com a Terra (força gravitacional);
- Contato ($\vec{C}$) com o solo, vertical para cima; interação do carro com o solo;
- Força motora ($\vec{F}_m$), horizontal, para a esquerda ou para a direita dependendo do sentido do movimento; interação dos pneus com o solo;
- Resistência do ar ($\vec{F}_{ar}$), horizontal e contrária ao sentido do movimento do automóvel; interação do carro com o ar.

a) Se a velocidade do automóvel é constante, o módulo da força resultante é igual a zero (primeira lei de Newton). Assim, temos: $C = P$ e $F_m = F_{ar}$.

b) Se a velocidade do automóvel aumenta na pista horizontal, temos uma força resultante horizontal no sentido do movimento (segunda lei de Newton). Nessas condições: $C = P$ e $F_m > F_{ar}$. A força resultante é dada por: $F_R = F_m - F_{ar}$.

c) No caso de o automóvel subir um aclive com a velocidade diminuindo, temos uma força resultante no sentido contrário ao movimento (segunda lei de Newton). Vamos optar pelas componentes da força peso: 1) paralela à rampa e no sentido contrário ao movimento do automóvel (P_x), e 2) perpendicular à rampa e para baixo (P_y). As relações entre os módulos das forças são dadas por:

$C = P_y = P \cdot \cos \alpha$

$F_R = P_x + F_{ar} - F_m \Rightarrow F_R = P \cdot \text{sen } \alpha + F_{ar} - F_m$

19 I. Incorreta. As forças de ação e reação não se equilibram, pois agem em corpos distintos.

II. Incorreta. A inércia de um corpo é diretamente proporcional à sua massa. Assim, quanto maior a massa, maior a inércia.

III. **Correta**. De acordo com a segunda lei de Newton:

$$F_R = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{F_R}{m}$$

IV. Incorreta. As forças de ação e de reação têm o mesmo módulo.

V. **Correta**. No cabo de guerra, as equipes puxam a corda em sentidos contrários utilizando o solo como apoio. Ao empurrar o solo, cada equipe é empurrada pelo solo em sentido contrário. Portanto, a força que cada equipe exerce na corda depende da força com que ela empurra o solo.

20 Esta questão é uma aplicação numérica da lei da ação e reação: forças iguais, de sentidos contrários, que agem simultaneamente nos dois corpos que interagem. Assim, a força que o jovem de 60 kg (*A*) exerce no de 40 kg (*B*) é igual, em módulo, à força que o jovem de 40 kg exerce no de 60 kg.

$$F_{AB} = F_{BA} \Rightarrow m_B \cdot a_B = m_A \cdot a_A \Rightarrow m_B \cdot \frac{\Delta v_B}{\Delta t} = m_A \cdot \frac{\Delta v_A}{\Delta t}$$

Nessa última expressão, Δt é o intervalo de tempo da interação. Sendo $\Delta v = v - v_0$, e $v_0 = 0$ para os dois jovens, obtemos:

$$m_B \cdot v_B = m_A \cdot v_A \Rightarrow 40 \cdot 3{,}0 = 60 \cdot v_A \Rightarrow v_A = 2{,}0 \text{ m/s}$$

O jovem *A*, de 60 kg, adquire velocidade de 2,0 m/s no sentido contrário ao do jovem *B*, de 40 kg.

Resposta: alternativa **b**.

21 De acordo com a lei da ação e reação, numa colisão, independentemente de os corpos terem massas diferentes, a intensidade da força de interação é a mesma nos dois corpos. Sendo as forças iguais, em módulo, o corpo que possuir maior massa sofrerá a menor variação de velocidade, ou seja, sua aceleração é menor. Como, normalmente, um caminhão possui massa maior que um carro, o carro experimentará a maior aceleração.

Retomando

22 De acordo com a segunda lei de Newton, uma força de 2 500 N agindo em uma massa de 20 kg provoca uma aceleração de 125 m/s² (2 500 ÷ 20). Essa aceleração é igual a 12,5 vezes a aceleração da gravidade, ocasionando certamente danos gravíssimos, em caso de acidente. O cinto de segurança e a cadeira apropriada são projetados para minimizar os danos em caso de um acidente grave, e devem ser sempre utilizados.

23 Trata-se de uma questão que exige estimativas por parte dos alunos e uma discussão interessante sobre os valores adotados. Supondo a massa do motorista igual a 80 kg e a distância de frenagem igual a 10 m, temos:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S \Rightarrow 0 = (20)^2 + 2 \cdot a \cdot 10 \Rightarrow |a| = 20 \text{ m/s}^2$$

$$F_R = m \cdot a \Rightarrow F_R = 80 \cdot 20 \Rightarrow F_R = 1\,600 \text{ N}$$

24 Sendo 180 ton $= 1{,}8 \cdot 10^5$ kg e 720 km/h $= 200$ m/s, a intensidade da força média do impacto do avião com a torre é:

$$F_m = m \cdot a = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow F_m = 1{,}8 \cdot 10^5 \cdot \frac{|0 - 200|}{1{,}5} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_m = 2{,}4 \cdot 10^7 \text{ N}$$

A ordem de grandeza da força média, em newton, é 10^7.

Resposta: alternativa **d**.

25 Enquanto não houver deslizamento do bloco, podemos afirmar que o módulo da força que o bloco faz sobre a mola é igual ao módulo da força de atrito sobre ele, como comprova a segunda lei de Newton:

$\vec{F}_r = 0 \Rightarrow \vec{F} = \vec{F}_{at}$

Resposta: alternativa **a**.

26 De acordo com o gráfico 2, a redução de massa foi de:

$\Delta m = 1{,}16 - 0{,}20 \Rightarrow \Delta m = 0{,}96$ kg

E, de acordo com o gráfico 1, a redução na deformação da mola foi de:

$\Delta x = 0{,}20 - 0{,}12 \Rightarrow \Delta x = 0{,}08$ m

Em relação às forças, temos:

$\Delta F_{elast.} = \Delta F \Rightarrow k \cdot \Delta x = \Delta m \cdot g \Rightarrow k = \frac{0{,}96 \cdot 10}{0{,}08} \Rightarrow$

$\Rightarrow k = 120$ N/m

Resposta: alternativa **a**.

CAPÍTULO 6 – Aplicações das leis de Newton

Ao chegar a este capítulo, acreditamos que você e seus alunos estejam passando por uma transição relevante: como utilizar o esqueleto teórico desenvolvido nas aulas anteriores para interpretar situações cotidianas.

Acreditamos ser esse um momento decisivo para desenvolver as habilidades relativas ao enfrentamento de situações-problema, reconhecendo os fenômenos envolvidos e identificando as grandezas relevantes.

Assim, sugerimos que você inicie discutindo os problemas que um motorista enfrenta ao realizar uma curva, analisando as forças atuantes no carro e questionando a razão pela qual a velocidade para a execução de uma curva é limitada.

Nesse momento, sugerimos que os alunos se reúnam em equipes e que estas proponham conjecturas a respeito desse ponto. Assim, acreditamos que, com base na discussão, surgirá a ideia de curva "aberta" ou "fechada".

Como resultado teremos aguçada a curiosidade qualitativa e quantitativa de como estimar a velocidade adequada a cada curva, um dos objetos do capítulo.

É um momento interessante para mostrar como a tecnologia, criada pelos seres humanos, é limitada pelas leis da Física, impostas pela Natureza.

Outra estratégia a ser utilizada é, com a mesma metodologia, discutir um problema corriqueiro: como elevar uma carga. Aqui, os alunos podem desenvolver ideias sobre a facilitação dessas tarefas e o conceito de máquina pode emergir de maneira natural.

Situações-problema

No capítulo, existem sete situações-problema propostas para que os alunos possam perceber como as leis de Newton aparecem em nosso cotidiano e como podem ser utilizadas para o desenvolvimento tecnológico.

Na primeira situação-problema, tentamos mostrar as aplicações das leis de Newton a corpos em movimento horizontal; na segunda, aos corpos que se movem verticalmente, os chamados elevadores, presentes em prédios e em obras civis de grande porte.

Na terceira situação-problema, dois dispositivos essenciais, principalmente na construção civil, as polias (roldanas) fixa e móvel, podem ser discutidos. As rampas (planos inclinados) constituem o assunto da quarta situação-problema, na qual a decomposição vetorial assume posição de destaque.

Esse é um ponto que traz ao aluno certa dificuldade, principalmente por requerer noções de trigonometria. Entretanto, deve ser encarado positivamente, como uma oportunidade de desenvolver as competências relativas aos símbolos e códigos utilizados e, também, aquelas relativas às habilidades algébricas e de formulação de problemas.

Como quinta situação-problema sugerimos o estudo dos corpos em queda visto no Capítulo 3. Aqui, podemos tratar os corpos em queda levando-se em conta a resistência do ar, fundamental na prática do paraquedismo. Esse é um ponto muito atraente para os alunos, e as questões relativas à aerodinâmica dos carros, com o objetivo de minimizar os efeitos do ar e, com isso, aumentar seu rendimento, podem ser bem exploradas. Mais uma vez é possível enfatizar que o conhecimento de Física expande e dirige os limites do homem, em sua relação com a Natureza.

O capítulo pode ser finalizado com as leis de Newton aplicadas às trajetórias curvas em planos horizontais (carros, motos, asa-delta) e em planos verticais (carros em lombada, em depressão e motos nos chamados "globos da morte") abordados nas situações-problema 6 e 7.

Entretanto, apesar do apelo tecnológico e cotidiano de todos esses tópicos, é essencial que, ao longo de seu desenvolvimento, o aluno perceba que os princípios básicos de formulação dos problemas seguem uma metodologia:

1. A escolha do objeto de estudo, que passa a ser um sistema isolado.
2. O diagrama de forças. Aqui, acreditamos ser importante destacar que assinalamos, no objeto de estudo, todas as forças que o meio externo exerce sobre ele (terceira lei de Newton).
3. A determinação da resultante. Você pode ressaltar que a força resultante **não** é uma força no sentido estrito, mas representa a ação de todas as forças atuantes no corpo.
4. A aplicação da primeira lei de Newton, se a força resultante for nula, e da segunda lei de Newton, se a força resultante não for nula.

Enfim, é um capítulo que promete muita discussão e diversão.

1. Corpos em movimento horizontal

Ao explorar esta situação-problema, você pode concentrar-se no desenvolvimento das habilidades e competências de reconhecimento de símbolos, códigos e nomenclaturas combinadas com as de reconhecimento das variáveis envolvidas no problema.

Isso pode ser feito enfatizando o detalhamento das interações entre o sistema isolado escolhido e o meio externo. Devemos ressaltar o fato de que, no sistema isolado, somente assinalamos as forças de ação, pois a correspondente reação encontra-se no elemento do meio externo que produziu a ação.

Sugerimos que você faça, passo a passo, a colocação de cada uma das forças, salientando a interação que deu origem a cada uma delas.

O Exercício resolvido 1 nos mostra uma aplicação numérica de uma situação prática: dois carrinhos de supermercado interligados por um cabo. Use esse exemplo para discutir as duas situações: com e sem atrito.

Para complementar as ideias desenvolvidas nesse tópico, você pode utilizar o texto a seguir e solicitar que os alunos leiam e discutam, produzindo uma resposta escrita sobre o conceito de atrito de rolamento, e desenvolvam, assim, as habilidades de traduzir nas linguagens e códigos da Física ideias de seu dia a dia.

Atrito de rolamento

É muito mais fácil mover um armário cheio sobre um carrinho com rodas do que arrastá-lo pelo piso. Mas, quanto mais fácil?

Podemos definir um **coeficiente de atrito de rolamento** μ_r como a força horizontal necessária para um deslocamento com velocidade constante sobre uma superfície plana dividida pela força normal de baixo para cima exercida pela superfície.

Os engenheiros de transportes chamam μ_r de resistência de tração. Valores típicos de μ_r são de 0,002 a 0,003 para rodas de aço sobre trilhos de aço e de 0,01 a 0,02 para pneus de borracha sobre concreto. Esses valores mostram a razão pela qual um trem que se desloca sobre trilhos gasta muito menos combustível do que um caminhão em uma autoestrada.

FREEDMAN, Roger A.; YOUNG, Hugh D. *Física I:* Mecânica. São Paulo: Addison Wesley, 2008. p. 153-154.

Para refletir

As figuras abaixo ilustram os diagramas de forças que agem nos vagões 1 e 3.

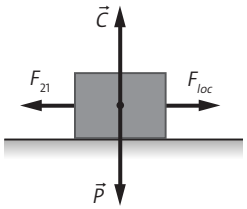


Diagrama de forças no vagão 1.

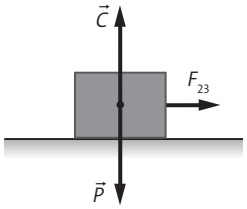


Diagrama de forças no vagão 3.

Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

2. Elevadores

Nessa situação-problema as grandezas a serem identificadas como relevantes são as forças atuantes e como elas estão relacionadas nas diversas situações práticas. Além disso, a competência relativa à relação entre as forças atuantes e a velocidade (e sua variação) pode ser bem desenvolvida, por meio de discussões detalhadas.

Sugerimos iniciar com a figura ao lado, que mostra as duas forças que agem em um elevador (peso e tração).

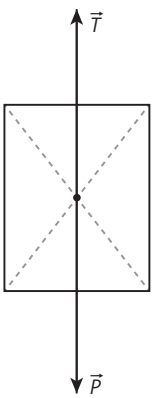


Diagrama das forças que agem em um elevador.

Como ponto de partida, podemos verificar como os alunos reagem diante de algumas questões básicas:

1. Se o elevador estiver subindo, qual das duas forças terá maior módulo: a força peso ou a força de tração? E se o elevador estiver descendo?
2. Se a intensidade da força de tração no cabo do elevador for maior do que a intensidade da força peso, o elevador está subindo ou descendo? E se for menor?
3. Se a intensidade da força de tração no cabo do elevador for igual à intensidade da força peso, o que está acontecendo com o elevador?

É bem provável que alguns alunos façam as seguintes associações:

- Se o elevador estiver subindo, a intensidade da tração é maior do que a intensidade da força peso.
- Se o elevador estiver descendo, a intensidade da força peso é maior do que a intensidade da tração.

Você pode mostrar que essas associações estão incompletas ou deixar para corrigi-las após a explanação do assunto.

Observe que, nas duas primeiras questões propostas, procuramos abordar a aplicação da segunda lei de Newton: a força resultante deve ser associada à variação de velocidade e não à velocidade. Portanto, o fato de existir uma força resultante para cima (ou para baixo) não garante que o movimento do elevador seja para cima (ou para baixo).

Na terceira questão, procuramos abordar a aplicação da primeira lei de Newton: se a força resultante é nula, o corpo pode estar parado ou em movimento retilíneo e uniforme.

Em resumo, devemos enfatizar que o sentido do movimento do elevador (para cima ou para baixo) é dado pelo sentido do vetor velocidade e que o sentido da força resultante (para cima ou para baixo) determina se o movimento é acelerado ou retardado.

No caso de a força resultante ser nula, o elevador pode estar parado ou em movimento (para cima ou para baixo) com velocidade constante.

Aproveitamos o Exercício resolvido 2 para discutir as indicações de uma balança colocada no piso de um elevador, subindo ou descendo, quando uma pessoa se encontra sobre ela. Nesse caso, a indicação da balança costuma ser entendida como "o peso aparente da pessoa". Uma discussão interessante relaciona-se ao peso aparente de uma pessoa ser igual a zero se o elevador estiver em queda livre, ou seja, descendo com aceleração igual à aceleração da gravidade.

Aqui os alunos podem ser incentivados a relacionar cada uma das situações apresentadas com as sensações que experimentam quando utilizam elevadores, objeto da seção **Trabalho em equipe**.

Trabalho em equipe

Você pode explorar, ainda, um pouco mais esse assunto, o chamado *estado de imponderabilidade,* que normalmente é discutido no capítulo sobre gravitação. Nesse sentido, apresentamos a seguir um pequeno trecho do artigo "Física no estado de imponderabilidade", de Sally Ride, do Centro para a Segurança Internacional e Controle de Armas da Universidade de Stanford – EUA, que poderá ser útil:

Notícias publicadas em jornais sobre astronautas "fora da ação da gravidade da Terra" levaram uma professora do segundo grau a comentar que "os professores de ciências têm dificuldade de ensinar como se realizam os voos espaciais". Ela mostrou que expressões do tipo "gravidade nula" são confusas e que muitas pessoas interpretam isso como significando que "não existe força gravitacional". Naturalmente, o ônibus espacial não está livre da força gravitacional. De fato, é justamente a força gravitacional que faz com que a nave, e tudo o que existe dentro dela, permaneça em órbita em torno da Terra. A confusão surge, porque um astronauta no interior de um ônibus espacial em órbita está "sem peso", ou seja, em "estado de imponderabilidade" — ele flutuaria acima de qualquer balança ligada ao "chão" da nave. Ele não está sem peso porque está "fora da ação da gravidade", mas sim porque o ônibus espacial e tudo em seu interior (incluindo astronautas e balanças) estão em queda livre. Um astronauta não pode pressionar uma balança, do mesmo modo que um cientista, na experiência clássica (e felizmente rara) de um elevador em queda livre, também não o pode.

RIDE, Sally. Física no estado de imponderabilidade. In: HALLYDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física*: Gravitação. Ondas e Termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 1994. p. 72. v. 2.

Para refletir

Sim, é possível, pois, em cada uma delas é mostrado o vetor velocidade. Ele indica o sentido do movimento do elevador, para cima ou para baixo.

Oriente os alunos que o movimento do elevador para cima ou para baixo é indicado pelo vetor velocidade, e este é mostrado em cada uma delas. Assim, é possível identificar se o elevador está subindo ou descendo em cada uma das figuras.

3. Polia fixa e polia móvel

Certamente os alunos já viram uma polia. Julgamos interessante solicitar que eles observem as polias mostradas no capítulo e responder à questão: Qual é a diferença entre uma polia fixa e uma polia móvel?

Você pode iniciar destacando o fato de que tanto a polia fixa como a polia móvel favorecem a realização de uma tarefa por uma pessoa.

Às vezes, basta uma mudança na direção da força aplicada – nesse caso, usamos uma polia fixa. Em outras situações, necessitamos um ganho na intensidade da força – aqui, precisamos de uma polia móvel.

A figura composta de quatro situações distintas, mostrada no Livro do Aluno, ilustra os diferentes modos de utilização de roldanas fixas e móveis.

Podemos, também, utilizar associações de polias. Uma delas, denominada talha exponencial, é mostrada no Livro do Aluno.

Encerrando este tópico, discutimos a vantagem mecânica, uma grandeza adimensional, relacionada à força aplicada pelo operador com a força obtida no dispositivo mecânico. Um ponto que deve ser salientado diz respeito à troca de força pela distância.

Assim, as competências e habilidades relativas à transposição recíproca do mundo real para os modelos ficam evidenciadas nesta discussão. Você pode aproveitar para mostrar a importância das polias na construção civil e no transporte de materiais e na indústria em geral.

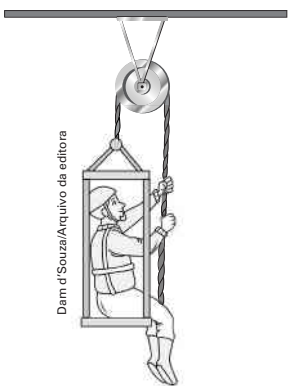
Se o professor achar conveniente é possível adiantar, também, algumas informações sobre a grandeza **trabalho**, assunto do próximo capítulo.

Via de regra, nas máquinas simples, nas quais se encaixa a roldana, não há ganho de trabalho: as máquinas trocam força por distância.

Atividade complementar

Após a resolução comentada dos exercícios em sala de aula, sugerimos que o professor utilize o exercício seguinte como trabalho extraclasse para composição do processo de avaliação.

- Um homem senta-se em um elevador usado em obras, ou em limpeza de prédios, sustentado por uma corda leve que passa por uma polia, conforme mostra a figura.



O homem puxa a extremidade livre da corda para fazer o elevador subir. Considere m a massa do homem, M a massa do elevador e g a aceleração da gravidade. Despreze atritos e a massa da polia.

a) Faça o diagrama de forças para o homem e para o elevador.

b) Estabeleça a relação, em função de m, M e g, que permite calcular o módulo da força com que o homem deve puxar a corda para subir com velocidade constante.

Resolução:

a) As figuras 1 e 2, seguintes, mostram as forças que agem no homem (Peso, Normal e Tração) e no elevador (Peso, Normal e Tração), respectivamente.

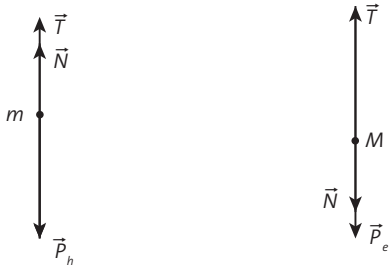


figura 1 figura 2

b) Nas figuras, $\vec{T}$ (tração na corda) representa a força com que o homem puxa a corda. Admitindo que a velocidade seja constante, a força resultante é nula. Assim, temos:

Figura 1: $T + N = P_h$

Figura 2: $T = N + P_e$

Na segunda expressão, temos: $N = T - P_e$. Substituindo na primeira expressão, obtemos:

$$T + T - P_e = P_h \Rightarrow 2T = P_h + P_e \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = \frac{P_h - P_e}{2} \Rightarrow T = \frac{(m + M) \cdot g}{2}$$

Para velocidade constante, o homem deve exercer na corda uma força com intensidade igual à metade do peso do conjunto (homem + elevador).

4. Plano inclinado

Neste tópico, é importante retomarmos a discussão iniciada no capítulo anterior em relação à força de contato e suas componentes, normal e atrito.

Sugerimos que o professor apresente, detalhadamente, as quatro situações mostradas no Livro do Aluno: bloco em repouso, bloco na iminência de movimento, bloco em movimento rampa abaixo e bloco em movimento rampa acima.

Essa apresentação, mais uma vez, visa desenvolver as habilidades e competências relativas à interpretação dos conceitos da Física e de seus códigos em situações cotidianas.

5. Resistência do ar

Neste tópico, iniciamos com o paraquedismo, modalidade esportiva difundida no Brasil.

Essa discussão permitirá que o aluno amplie seus horizontes de interpretação e possa entender um fenômeno cotidiano à luz de grandezas físicas mensuráveis, adquirindo ideia de seus valores típicos.

Para tanto, vejamos alguns comentários que você poderá colocar como ponto de partida para a discussão.

O primeiro é ressaltar a importância do ar na chamada fase de queda livre. No paraquedismo, se a primeira etapa da queda, com o paraquedas fechado, que dura aproximadamente 1 minuto, fosse realmente livre, como dizem os praticantes dessa modalidade de esporte, a velocidade do paraquedista atingiria valores acima de 2 000 km/h. Isso pode ser constatado por meio da função horária da velocidade:

$$v = v_0 + g \cdot t$$

Para $v_0 = 0$, g = 10 m/s² e $t = 60$ s (1 min), temos:

$v = 0 + 10 \cdot 60 \Rightarrow v = 600$ m/s = 2 160 km/h

Mas, de acordo com fontes especializadas, a velocidade durante o primeiro minuto de queda atinge valores da ordem de 200 km/h. Isso significa dizer que, mesmo com o paraquedas fechado, a resistência do ar tem um papel decisivo no controle da velocidade.

O segundo ponto a ser destacado diz respeito às forças que agem no paraquedista nessa primeira etapa: a força peso ($\vec{P}$) e a força de resistência do ar ($\vec{R}_{ar}$). A força resultante é dada por:

$$R = P - R_{ar} \Rightarrow m \cdot a = m \cdot g - k \cdot v^2$$

Nessa expressão, *k* é uma constante que depende da densidade do ar (*d*), da área frontal do corpo (*A*) e do coeficiente de arrasto aerodinâmico (*C*). No início do movimento, a velocidade vertical *v* é nula. Nesse instante, a aceleração *a* do movimento é igual à aceleração da gravidade *g*: a velocidade aumenta.

Observe na expressão que, à medida que a velocidade aumenta, a aceleração *a* diminui. Isso significa dizer que o aumento de velocidade é cada vez menor até o instante em que a aceleração se anula: a partir desse ponto a velocidade atinge o **valor limite** (velocidade terminal), que permanece constante até a abertura do paraquedas.

Esse valor limite pode ser obtido na expressão anterior na qual $a = 0$:

$$m \cdot a = m \cdot g - k \cdot v^2 \Rightarrow m \cdot 0 = m \cdot g - k \cdot v^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{lim} = \sqrt{\frac{m \cdot g}{k}}$$

Na segunda etapa, chamada de "navegação", com o paraquedas aberto, a velocidade é reduzida para valores da ordem de 15 km/h, um valor adequado para um pouso tranquilo.

Física explica

Na seção, apresentamos o texto sobre *Coeficiente aerodinâmico* que pode ser usado como ponto de partida de uma pesquisa sobre os diferentes modelos de automóveis e os coeficientes de arrasto aerodinâmico.

Sugerimos que o professor aproveite para discutir o tema, dividindo os alunos em grupos e coletando suas impressões sobre o conceito apresentado. Acreditamos ser um excelente momento para, mais uma vez, mostrar como as leis físicas, impostas pela Natureza, regem suas relações com os seres humanos.

As duas questões propostas possibilitam uma discussão interessante sobre os principais modelos de automóveis existentes em nosso país, bem como o papel da indústria automobilística em um dos maiores problemas que afetam a nossa sociedade: o consumo desenfreado de energia.

Para a pesquisa sobre os coeficientes aerodinâmicos, indicamos:

- Revista *Vozes dos Vales*, da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), n. 3, ano 2. Disponível em: <site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2011/09/An%C3%A1lise-da-aerodin%C3%A2mica-de-carros-populares.pdf>. Acesso em: set. 2015. Nessa revista, são encontrados os coeficientes de atrito aerodinâmico para diversos modelos de carros nacionais. Como a matemática envolvida é avançada, os alunos devem se preocupar apenas com os valores numéricos da tabela 23.
- *Site* Carros na Web. Disponível em: <www.carrosnaweb.com.br/rankinglista.asp?ordem=58>. Acesso em: set. 2015. Nesse *site* são encontrados coeficientes de atrito aerodinâmico de alguns modelos de carros importados.

Para a discussão da segunda questão, indicamos o *site* Carro *on-line*. Disponível em: <carroonline.terra.com.br/dicas-e-servicos/tecnologia/coeficiente-aerodinamico/?rlabs>. Acesso em: set. 2015.

6. Trajetórias curvas

Para este tópico, o ponto de partida é: um carro que faz uma curva mantendo a velocidade em 60 km/h está ou não dotado de aceleração?

Precisamos trabalhar bem esse ponto, pois é comum os alunos associarem aceleração ao aumento de velocidade. É preciso que, ao analisarmos um corpo descrevendo uma trajetória curva, tenhamos em mente que, independentemente de o valor da velocidade (em intensidade) variar ou não, o corpo está dotado de aceleração. Como justificar essa informação?

Talvez esse seja o ponto mais delicado a ser entendido nesse estágio de ensino. Acreditamos no uso de argumentos originários da vivência do aluno, isto é, sensações experimentadas em carros, ônibus ou brinquedos de parque de diversões.

Associar essas sensações aos códigos e leis da Física começa pelo entendimento de que, para um corpo descrever uma curva, é preciso que, obrigatoriamente, a direção e o sentido da velocidade (do ponto de vista vetorial) variem.

Mesmo que o módulo da velocidade permaneça constante, temos um vetor velocidade variável. Isso significa dizer que deve haver uma força resultante, diferente de zero, responsável por essa variação.

Essa força resultante, orientada para o centro da curva, recebe uma denominação especial: é chamada de **resultante centrípeta**.

Para que a tarefa de exposição do assunto seja facilitada, dividimos o estudo das trajetórias curvas em dois tópicos: trajetórias curvas em planos horizontais, que será abordada nesse tópico, e trajetórias curvas em planos verticais, que abordaremos no tópico seguinte.

Nas trajetórias curvas em planos horizontais, destacamos a principal aplicação prática: o movimento de um carro em pistas curvas sem inclinação e com inclinação.

Sugerimos que você faça a dedução da expressão da velocidade máxima do carro nos dois casos, seguindo as passagens do livro. Sabemos da dificuldade dessa tarefa, mas manter no aluno a conexão da linguagem da Física com o mundo que o cerca é nosso desafio nesse ponto.

Trajetórias curvas em planos verticais

Podemos iniciar este tópico sobre trajetórias curvas em planos verticais lembrando de várias aplicações práticas: lombada, depressão, globo da morte e montanha-russa.

Como todas se referem a uma trajetória curva, o desenvolvimento segue o mesmo padrão:

- Inicialmente, construímos o diagrama de forças no corpo em estudo.
- Determinamos a força resultante (resultante centrípeta), lembrando que ela deve estar orientada para o centro da curva.

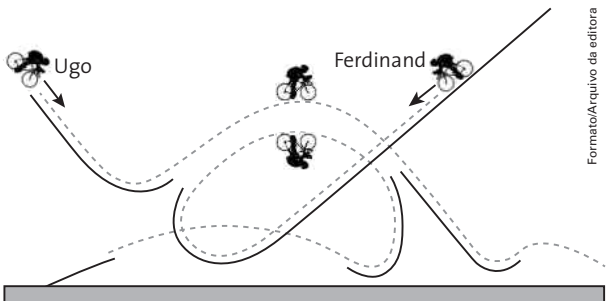
Mais uma vez, o aluno pode ser levado a desenvolver sua capacidade de percepção e generalização das leis físicas, entendendo

que planetas, satélites, maçãs, carros, motos e aviões seguem as leis de Newton.

Sugerimos que o professor faça alguns comentários sobre as aplicações das trajetórias curvas, com ou sem *looping*, nos circos e nos parques de diversões.

Para isso, apresentamos o texto seguinte sobre ***loopings* de bicicleta**. Embora o texto a seguir se refira aos Estados Unidos, as mesmas apresentações ocorreram no Brasil.

> Os modernos parques de diversões podem ser muito emocionantes mas não têm a mínima graça se comparados com algumas das acrobacias circenses que eram realizadas com bicicletas entre 1900 e 1912. Enquanto um circo tentava superar o outro, números ousados eram inventados e executados, alguns mais de uma vez se os acrobatas escapassem ilesos. Uma das primeiras acrobacias foi apresentada em 1901 pelo circo Adam Forepaugh & Sells Bros. Um homem conhecido como "Starr" desceu em uma bicicleta de uma altura de 18 metros por uma rampa de 52°. Pode não parecer nada demais, mas a rampa era formada por três escadas emendadas uma na outra, o que tornava a descida bastante acidentada.
>
> [...] Talvez a acrobacia mais ousada realizada em bicicleta tenha acontecido em 1905, quando o circo Barnum & Bailey se apresentou no Madison Square Garden. O número começou com Ugo Ancillotti em uma bicicleta sobre uma rampa e o irmão Ferdinand em outra rampa, um pouco mais alta, voltada para a primeira, conforme mostra o esquema da figura a seguir.



Formato/Arquivo da editora

> A um sinal, os irmãos começaram a descida. Ao chegar à parte inferior da rampa, extremamente curva, Ugo foi projetado 14 metros, aterrissou na outra rampa e repetiu a proeza em um voo de 9 metros.
>
> Enquanto isso, Ferdinand foi lançado da parte inferior da sua rampa de modo a voar de cabeça para baixo em direção a outra rampa. O momento mais impressionante do número foi quando Ferdinand passou de cabeça para baixo menos de 1 metro abaixo de Ugo, que estava executando seu primeiro voo.
>
> [...] Os circos começaram a substituir as bicicletas por automóveis, em parte porque eram uma novidade na época. Um ou dois ocupantes desciam uma rampa de carro e davam uma ou duas cambalhotas antes de alcançarem a segunda rampa. Entretanto, esse tipo de acrobacia perdeu força a partir de 1912, provavelmente porque o público se acostumou com os riscos envolvidos.
>
> WALKER, Jearl. *O circo voador da Física*. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. p. 9-10.

Para refletir

A moto não cai porque ela passa pelo ponto mais alto do globo com a velocidade adequada. Sendo a força resultante perpendicular à velocidade, esta varia somente em direção e sentido, mantendo seu módulo constante.

Experimento

A seção **Experimento** proporciona uma oportunidade para que as competências de interpretação, redação, experimentação e apresentação de resultados sejam desenvolvidas por meio de um procedimento bastante simples.

Sugerimos que esta atividade prática seja realizada em equipes de quatro a cinco alunos. Vamos utilizar a mola calibrada na atividade prática do capítulo anterior ou, se não for possível, devemos, inicialmente, efetuar a calibração da mola.

Você deve providenciar com antecedência o bloco e a prancha de madeira. Uma prancha de madeira com 50 cm de comprimento, 15 cm de largura e 1,5 cm de espessura e um bloco cúbico com 10 cm de aresta, por equipe, são suficientes. Sugerimos que cada conjunto (bloco e prancha) apresente um grau de aspereza diferente para que os grupos possam comparar seus resultados com os dados da tabela que se encontram no Capítulo 5 deste manual e que reproduzimos em seguida, somente para madeira sobre madeira:

Valores aproximados de coeficientes de atrito estático	
Natureza das superfícies	**Coeficiente de atrito estático**
Madeira sobre madeira	0,25 – 0,50

Antes de os alunos iniciarem as medidas de cada um dos experimentos, devemos apresentar os comentários e as deduções necessárias para a realização da atividade.

As respostas das questões propostas nesta atividade dependem do grau de polimento da madeira e da precisão das medidas efetuadas. O importante é que os alunos tenham consciência das dificuldades que normalmente estão presentes nas atividades práticas e dos erros inerentes às medidas.

Em construção

Neste capítulo, escolhemos dois construtores da Física que, em suas múltiplas atividades, deram importantes contribuições para o entendimento da força de atrito e sua formulação matemática. São eles: Leonardo da Vinci e Charles Coulomb.

Após a leitura do texto, você poderá solicitar aos alunos um trabalho de pesquisa sobre Leonardo da Vinci que envolve praticamente todas as áreas do conhecimento: Matemática, História, Artes, Biologia, entre outras. Não podemos esquecer da contribuição de Coulomb à Física, principalmente nas áreas da Mecânica, com suas teorias e leis sobre o atrito, e da Eletricidade.

Para que os alunos possam entender a frase de Marie Curie, mais conhecida como "Madame Curie", sugerimos a leitura do livro *Gênio obsessivo* – O mundo interior de Marie Curie, da escritora e historiadora Barbara Goldsmith, publicado pela Companhia das Letras, São Paulo, em 2006. Nesse livro, a autora apresenta a vida e a obra de uma das maiores cientistas de todos os tempos, que viveu em uma sociedade machista e preconceituosa, além de conciliar sua carreira com as tarefas domésticas.

Uma atividade complementar que pode ser interessante fundamenta-se na leitura do item **Em construção** e a tentativa de entendimento da frase de Marie Curie. Você pode pedir para as equipes procurarem saber sobre o trabalho científico de Charles Augustin de Coulomb.

Um trabalho de seminário pode ser proposto sugerindo dois pontos:

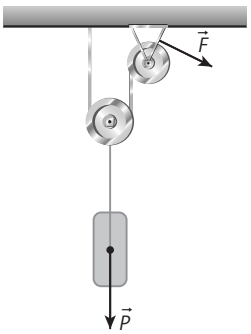
- Como os experimentos de Coulomb contribuíram para as leis da Gravitação.

- Como os experimentos de Coulomb contribuíram para as leis da Eletrostática.
- Qual a relação entre a Revolução Francesa e o trabalho científico de Coulomb. (Ver STEWART, Ian. *Uma história da simetria na Matemática*. Rio de Janeiro: Zahar, 2012.)

Atividades complementares

Apresentamos a seguir algumas questões que podem ser utilizadas para avaliações ou para trabalhos complementares.

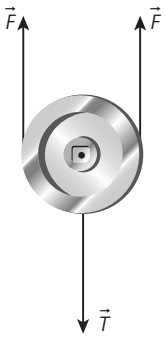
1. (PUC-RS) Numa obra de construção civil, os operários transportam verticalmente materiais usando roldanas, conforme mostra a figura.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Desprezam-se o atrito, o peso das roldanas e o peso da corda. Para elevar um material de peso *P*, a força *F* deve ser um pouco superior a:

a) $\frac{P}{4}$.
b) $\frac{P}{2}$.
c) *P*.
d) 2*P*.
e) 4*P*.



Resolução:

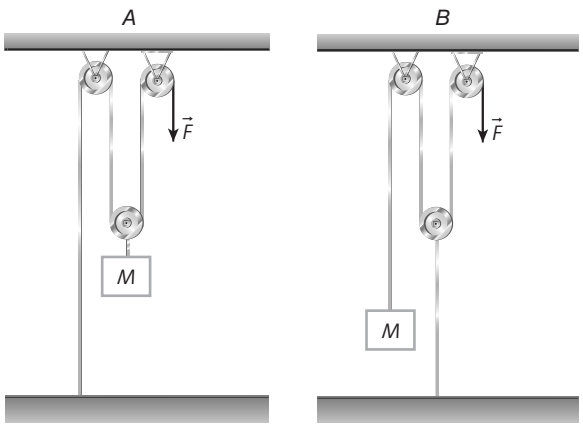
Para a resolução desta questão, basta analisarmos o diagrama de forças na roldana móvel, conforme mostra a figura ao lado.

Com base na figura, escrevemos: $T = 2 \cdot F$.

Sendo $T = P$ (peso do material), temos:

$F = \frac{P}{2}$. **Resposta:** alternativa **b**.

2. (UEM-PR) Um homem deseja manter suspensa e em repouso uma caixa de massa *M*. Para isso, ele faz uso de cordas e de polias. Qual esquema a seguir ele deve usar para manter a caixa suspensa em repouso com menor esforço e por quê? Considere desprezíveis o atrito da corda com as polias, as massas das cordas e as massas das polias.



a) Ele deve usar o esquema *A*, pois precisaria exercer uma força com a metade da intensidade do peso da caixa.
b) Ele deve usar o esquema *B*, pois precisaria exercer uma força com a metade da intensidade do peso da caixa.
c) Ele deve usar o esquema *A*, pois precisaria exercer uma força com um terço da intensidade do peso da caixa.
d) Ele deve usar o esquema *B*, pois precisaria exercer uma força com um terço da intensidade do peso da caixa.
e) Ele pode usar qualquer um dos esquemas, pois o número de polias é o mesmo nos dois esquemas.

Resolução:

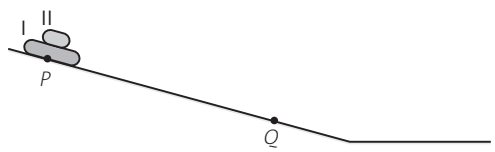
Na polia móvel do esquema *A*, temos exatamente a mesma situação do exercício anterior. Portanto: $F = \frac{P}{2}$ (*P* é o peso da caixa de massa *M*).

No esquema *B*, temos três polias fixas e não temos "ganho" de força. Portanto: $F = P$.

Assim, para manter a caixa suspensa em repouso com menor esforço, o homem deve usar o esquema *A*, pois ele exerce uma força com a metade da intensidade do peso da caixa. **Resposta:** alternativa **a**.

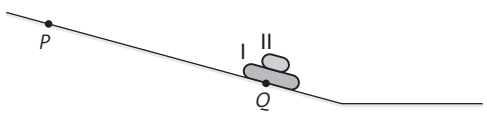
3. (UFMG) Durante uma aula de Física, o professor Domingos Sávio faz, para seus alunos, a demonstração que se descreve a seguir.

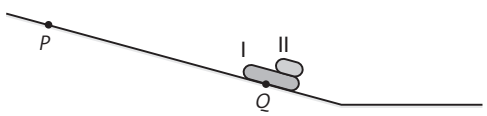
Inicialmente, dois blocos – I e II – são colocados um sobre o outro, no ponto *P*, no alto de uma rampa, como representado nesta figura:

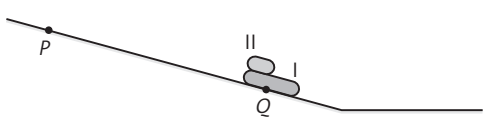


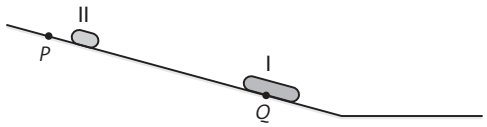
Em seguida, solta-se o conjunto formado por esses dois blocos. Despreze a resistência do ar e o atrito entre as superfícies envolvidas.

Assinale a alternativa cuja figura melhor representa a posição de cada um desses dois blocos, quando o bloco I estiver passando pelo ponto *Q* da rampa.

a)


b)


c)


d)


Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

Resolução:

Na rampa, a aceleração é a mesma para os dois blocos. Assim, durante a descida, os blocos mantêm suas posições relativas um ao outro. Então, ao passar pelo ponto *Q* da rampa, as

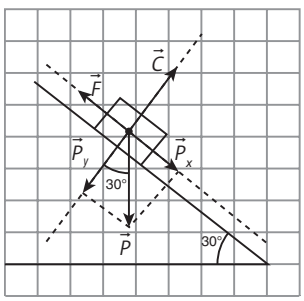
posições dos blocos correspondem àquela mostrada na alternativa **a**.

4. (UFPR) O empregado de uma transportadora precisa descarregar de dentro do seu caminhão um balcão de 200 kg. Para facilitar a tarefa do empregado, esse tipo de caminhão é dotado de uma rampa, pela qual podem-se deslizar os objetos de dentro do caminhão até o solo sem muito esforço. Considere que o balcão está completamente sobre a rampa e deslizando para baixo. O empregado aplica nele uma força paralela à superfície da rampa, segurando-o, de modo que o balcão desça até o solo com a velocidade constante. Desprezando a força de atrito entre o balcão e a rampa, e supondo que esta forme um ângulo de 30° com o solo, o módulo da força paralela ao plano inclinado exercida pelo empregado é:

a) 2000 N.
c) $2000\sqrt{3}$ N.
e) 200 N.
b) $1000\sqrt{3}$ N.
d) 1000 N.

Resolução:

Desprezando o atrito entre o balcão e a rampa, a figura a seguir mostra o diagrama de forças no balcão quando ele se encontra sobre a rampa: $\vec{P}_x$ e $\vec{P}_y$ são os componentes da força peso, $\vec{F}$ é a força aplicada pelo empregado e $\vec{C}$ é a força de contato do balcão com a superfície do plano inclinado.



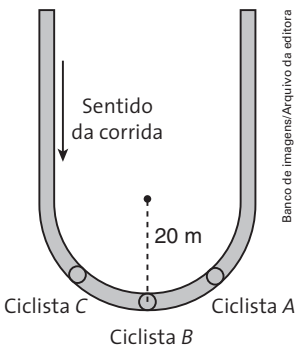
Banco de imagens/Arquivo da editora

Como o balcão desce com velocidade constante, temos:

$F = P_x = m \cdot g \cdot \text{sen}\, 30° \Rightarrow$
$\Rightarrow F = 200 \cdot 10 \cdot 0{,}50 \Rightarrow$
$\Rightarrow F = 1000$ N

Resposta: alternativa **d**.

5. (UFRR) Três ciclistas em uma corrida estão passando por uma curva, em formato de um semicírculo, de 20 m de raio, conforme representado na figura.



Banco de imagens/Arquivo da editora

O ciclista *A* pedala sua bicicleta com uma força resultante de 400 N. O ciclista *B* faz a curva sem pedalar. Já o ciclista *C* também pedala com uma força resultante de 400 N. Cada competidor possui massa 80 kg, para o conjunto ciclista-bicicleta. No instante mostrado na figura, a velocidade de cada ciclista é 10 m/s. Nesse instante, podemos afirmar que:

a) cada ciclista tem uma aceleração radial de 5 m/s^2.
b) cada ciclista tem uma aceleração tangencial de 5 m/s^2.
c) os ciclistas *A* e *C* não possuem aceleração radial.
d) os ciclistas *A* e *C* não possuem aceleração tangencial.
e) a aceleração radial do ciclista *B* é igual ao valor de sua aceleração tangencial.

Resolução:

De acordo com a figura dada, os três ciclistas estão passando pela curva de raio 20 m, com a mesma velocidade de 10 m/s. Portanto, os três estão acelerados radialmente, com uma aceleração dada por:

$$a_C = \frac{v^2}{r} = \frac{10^2}{20} \Rightarrow a_C = 5 \text{ m/s}^2$$

Os ciclistas *A* e *C* pedalam suas bicicletas com uma força resultante de 400 N. Isso significa que esses dois ciclistas possuem aceleração tangencial. Já o ciclista *B*, que faz a curva sem pedalar, tem sua velocidade constante e, portanto, aceleração tangencial nula.

Analisando as alternativas, temos:

a) **Correto**. A aceleração radial de cada ciclista é 5 m/s^2, conforme cálculo acima.
b) Incorreto. O ciclista *B* não possui aceleração tangencial.
c) Incorreto. Todos os ciclistas possuem aceleração radial (centrípeta).
d) Incorreto. Os ciclistas *A* e *C* possuem aceleração tangencial.
e) Incorreto. O ciclista *B* não possui aceleração tangencial.

Resoluções dos exercícios

1 a) Como o avião reboca o planador por meio de um cabo, suas acelerações são iguais: $a_a = a_p$.

b) De acordo com a definição de tração, duas forças iguais em módulo, aplicadas nos extremos do cabo mantendo-o tenso, temos que os módulos das trações no avião e no planador são iguais.

c) Em relação às forças do motor $\vec{F}_A$ e da tração $\vec{T}$ no cabo de reboque, temos que:

- $\vec{F}_A$ é a força resultante do conjunto (avião+planador): $F_A = (m_A + m_p) \cdot a$
- $\vec{T}$ é a força resultante do planador: $T = m_p \cdot a$.

Comparando as duas expressões, temos que $F_A > T$.

É importante ressaltar que a resolução desse exercício combinou várias habilidades e competências: identificação das grandezas importantes, elaboração de esquemas, aplicação do conhecimento teórico e habilidade algébrica.

2 I. Incorreta. Como a carga máxima permitida é 60 ton e cada reboque pode transportar, no máximo, 45 ton, a tensão máxima no cabo que une os reboques é dada por:

$T_{máx.} = m \cdot a = 45 \cdot 10^3 \cdot 0{,}5 \Rightarrow T_{máx.} = 2{,}25 \cdot 10^4$ N.

II. **Correta**. A tensão mínima é dada por:
$T_{máx.} = m \cdot a = 15 \cdot 10^3 \cdot 0{,}5 \Rightarrow T_{máx.} = 7{,}5 \cdot 10^3$ N.

III. **Correta.** Ver explicação em I e II.

IV. **Correta**. A força (*F*) do motor do treminhão é dada por:
$F = m \cdot a = 60 \cdot 10^3 \cdot 0{,}5 \Rightarrow F = 3{,}0 \cdot 10^4$ N

V. **Incorreta.** Qualquer que seja a distribuição de carga nos reboques, a soma das cargas não pode ultrapassar 60 toneladas.

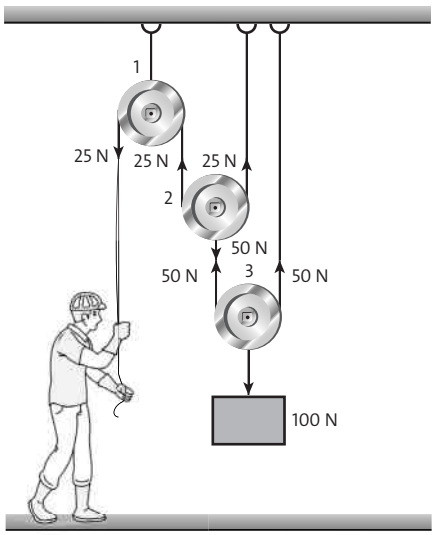
3 No arranjo de três polias utilizado para levantar um bloco de 100 N, observamos que:

a) a polia 1 é uma polia fixa e as polias 2 e 3 são móveis.

b) para determinar a intensidade mínima da força que a pessoa deve exercer no fio para levantar o bloco, vamos considerar o diagrama de forças mostrado na figura seguinte.

De acordo com a figura, a intensidade mínima da força da pessoa é **25 N**.

c) a pessoa aplica uma força de intensidade igual a $\frac{1}{4}$ do peso do bloco. Isso nos dá uma vantagem mecânica igual a 4. Por outro lado, para levantar o bloco 1 m, a pessoa precisa puxar 4 m do fio.

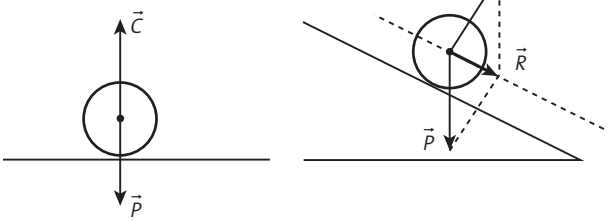


Dam d'Souza/Arquivo da editora

4 Como o bloco de 15 kg é $\frac{1}{8}$ do bloco de 120 kg, a vantagem mecânica do sistema é 8. Isso significa dizer que para o bloco de 120 kg subir 1,0 m é preciso que o bloco de 15 kg desça 8,0 m.

5 Nesta questão procuramos desenvolver a capacidade de comparação entre grandezas, para que ideias sobre as relações entre seus valores possam ser utilizadas.

Uma bola colocada em um piso horizontal, ou em uma rampa, fica sob a ação de duas forças: peso e contato, conforme mostram as figuras.



Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

A diferença é que, no piso horizontal, as forças peso e de contato se anulam e, na rampa, elas não se anulam, mas apresentam uma resultante $\vec{R}$. Como as esferas inicialmente estavam em repouso, no piso horizontal ela continua em repouso, mas, na rampa, ela entra em movimento acelerado rampa abaixo.

6 Para esta questão, vamos utilizar a teoria desenvolvida no tópico 4 sobre plano inclinado, no qual mostramos que um corpo colocado em um plano inclinado sem atrito entra em movimento acelerado para baixo com aceleração dada por $a = g \cdot \text{sen}\,\theta$.

a) em queda livre, a única força que age na bola é a força peso:
$R = P \Rightarrow m \cdot a = m \cdot g \Rightarrow a = g$

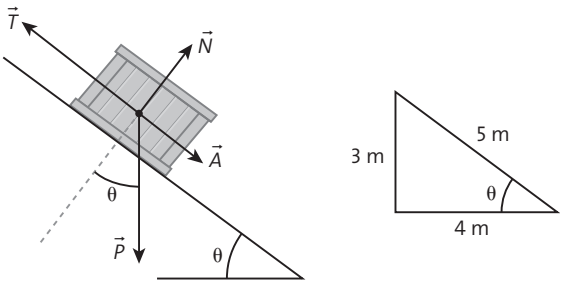
Portanto, em queda livre, a aceleração da bola é igual à aceleração da gravidade g. Na rampa, a aceleração é $a = g \cdot \text{sen}\,\theta$. Como o seno de um ângulo varia de 0 a 1, temos que $g \cdot \text{sen}\,\theta \leqslant g$. A aceleração no plano inclinado é menor do que g, mas aumenta à medida que aumentamos a inclinação do plano inclinado, atingindo o valor máximo, igual a g, para uma inclinação de 90°, ou seja, queda vertical.

Podemos, também, utilizar a figura da bola na rampa mostrada no exercício anterior (5). Observe que a força resultante tem módulo menor do que o módulo da força peso.

b) Em um plano inclinado de 15° com a horizontal, a aceleração máxima da bola é dada por $a = g \cdot \text{sen}\,\theta$ (sem atrito). Sendo $g = 10\ \text{m/s}^2$ e $\text{sen}\,15° = 0{,}26$, obtemos:
$a = 10 \cdot 0{,}26 \Rightarrow a = 2{,}6\ \text{m/s}^2$

7 Nesta questão, procuramos desenvolver competências e habilidades relativas à expressão e à interpretação de fenômenos físicos por modelos e linguagens de equações.

Na figura seguinte, que mostra o diagrama de forças na caixa, a força de contato entre a caixa e a rampa está representada por seus componentes: normal e atrito. Para uma melhor visualização, a figura mostra um triângulo retângulo com as medidas correspondentes às da rampa: altura, comprimento e projeção horizontal.

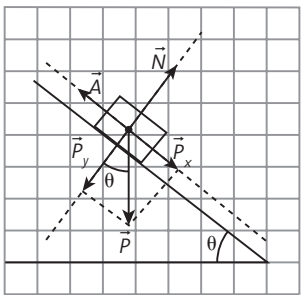


a) Do triângulo retângulo, obtemos:

$\text{sen}\,\theta = \frac{3}{5} = 0{,}60$ e $\cos\theta = \frac{4}{5} = 0{,}80$.

A intensidade mínima da tração, para a caixa subir com velocidade constante, é dada por:
$T = P \cdot \text{sen}\,\theta + A \Rightarrow T = m \cdot g \cdot \text{sen}\,\theta + \mu \cdot N \Rightarrow$
$\Rightarrow T = m \cdot g \cdot \text{sen}\,\theta + \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta \Rightarrow$
$\Rightarrow T = m \cdot g \cdot (\text{sen}\,\theta + \mu \cdot \cos\theta)$
Substituindo os valores numéricos, obtemos:
$T = 50 \cdot 10 \cdot (0{,}60 + 0{,}10 \cdot 0{,}80) \Rightarrow T_{\text{mín.}} = 340\ \text{N}$

b) Rompendo a corda, o diagrama de forças na caixa passa a ser o seguinte ($\vec{P}_x$ e $\vec{P}_y$ são os componentes da força peso):



Para verificar se a caixa permanece em repouso ou desce a rampa, precisamos comparar as intensidades das forças $\vec{P}_x$ e $\vec{A}$. De acordo com o item anterior, temos:

$P_x = m \cdot g \cdot \text{sen}\,\theta \Rightarrow P_x = 50 \cdot 10 \cdot 0{,}60 \Rightarrow$

$\Rightarrow P_x = 300$ N

E:

$A = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta \Rightarrow A = 0{,}10 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 0{,}80 \Rightarrow$

$\Rightarrow A = 40$ N

Como P_x é maior do que A, a caixa desce a rampa em movimento acelerado.

Estas duas questões (8 e 9) podem ser usadas para o desenvolvimento das habilidades argumentativas, cabendo redações de respostas que contribuirão para que o aluno adquira competência nas várias maneiras (códigos) de se expressar sobre fatos da natureza.

8 a) A interação entre o objeto e o ar resulta em uma força contrária ao movimento, a resistência do ar, que é influenciada pela área, pela velocidade e pela densidade.

b) Quando abandonamos um corpo em queda no ar, sua velocidade aumenta até atingir a velocidade terminal que é mantida constante até o corpo atingir o solo.

9 Vamos considerar duas etapas no movimento de queda do paraquedista:

- De 0 a T_A – No paraquedista agem duas forças: a força peso, vertical para baixo, e a resistência do ar, vertical para cima. A força resultante é vertical para baixo, pois o módulo da força peso é maior que o módulo da força de resistência do ar. Mas, como a força de resistência do ar ($k \cdot v^2$) aumenta com a velocidade, o módulo da força resultante diminui até atingir o valor zero (instante T_A). Nesse instante, a velocidade de queda do paraquedista atinge o valor limite (valor máximo);
- De T_A a T_B – Nesta segunda etapa, com a abertura do paraquedas, a força resultante é vertical para cima, pois o módulo da resistência do ar é maior que o módulo da força peso. Nessas condições, a velocidade de queda diminui e a resistência do ar também diminui, pois ela varia com a velocidade. No instante T_B, o módulo da resistência do ar torna-se igual ao módulo da força peso e, consequentemente, a força resultante é nula. A partir desse instante, a velocidade do paraquedista passa a ser constante até atingir o solo.

Resposta: alternativa **b**.

10 a) Para um satélite artificial em órbita circular e uniforme em torno da Terra, a força gravitacional faz o papel de resultante centrípeta. Ela produz alteração na direção e sentido do vetor velocidade, sem alterar seu módulo.

b) Se a atração gravitacional entre a Terra e o satélite deixar de existir, a força resultante no satélite é nula. Nessas condições, de acordo com a lei da inércia, o satélite continua em movimento uniforme, mas em trajetória retilínea.

Neste momento, talvez seja interessante ressaltar que as leis físicas do cotidiano do aluno são as mesmas dos satélites artificiais, apesar de serem de alta tecnologia.

11 Nesta questão há uma integração de habilidades de competências: leitura de gráficos, expressões matemáticas de leis físicas e, principalmente, capacidade de avaliação para os valores numéricos de uma grandeza física.

a) De acordo com a teoria, para uma curva plana sem inclinação, a velocidade do carro se relaciona com o raio da curva por meio da expressão: $v_{máx} = \sqrt{\mu_e \cdot r \cdot g}$. Nessa expressão, verificamos que as grandezas velocidade e raio de curvatura não são diretamente proporcionais, mas sim, existe uma relação quadrática entre elas. Portanto, ao dobrar o raio de curvatura, a velocidade não dobra.

b) Para verificar se o coeficiente de atrito estático, utilizado nos cálculos dos raios de curvatura em função da velocidade, é constante ou não, precisamos calculá-lo para cada ponto do gráfico. Da expressão acima, tiramos: $\mu_e = \frac{(v_{máx.})^2}{r \cdot g}$. Considerando $g = 10$ m/s^2 e efetuando os cálculos para cada par de valores do gráfico, obtemos um valor para o coeficiente de atrito estático praticamente constante e igual a 0,70. A seguir, apresentamos o cálculo para $v = 120$ km/h (33,3 m/s) e $r = 160$ m:

$$\mu_e = \frac{(v_{máx.})^2}{r \cdot g} = \frac{(33{,}3)^2}{160 \cdot 10} \Rightarrow \mu_e = 0{,}69$$

12 Com relação a dois carros emparelhados em uma pista sobrelevada, a análise das afirmativas nos fornece que:

I. **Falso**. Se os carros forem mantidos nesses níveis, suas velocidades são diferentes, pois, de acordo com o desenvolvimento teórico, quanto maior o raio da curva, maior a velocidade, pois, $v = \sqrt{r \cdot g \cdot \text{tg}\,\theta}$, onde θ é o ângulo de inclinação da pista. Mas, isso não é obrigatório. Nada impede que, em determinado instante, as velocidades sejam iguais.

II. **Falso**. Como os dois carros descrevem trajetórias curvas, os dois estão acelerados.

III. **Falso**. Uma redução na velocidade resulta na tendência de queda para o centro da curva, que deve ser compensada virando-se o volante para fora da curva.

Nessa situação, desenvolve-se a importante habilidade de discernir, usando o conhecimento das leis físicas, se uma afirmação é ou não correta.

13 A análise de cada uma das alternativas apresentadas nos fornece que:

I. Incorreto. Na lombada, a força de compressão que as rodas dianteiras do carro exercem sobre o solo é **menor** do que metade da força peso do carro.

II. **Correto**. A relação entre a intensidade da compressão e a velocidade do carro é dada por: $C = m \cdot \left(g - \frac{v^2}{r}\right)$: aumentando-se v, C diminui.

III. Incorreto. O carro está acelerado, pois a trajetória é curva.

IV. Incorreto. A intensidade da força de compressão pode ser zero, o que significa que o carro perdeu o contato com a pista.

14 a) De acordo com o enunciado, os raios de curvatura são iguais em A e B, mas a velocidade do carrinho em A é maior do que em B. Portanto, a intensidade da resultante centrípeta $\left(R_C = \frac{(m \cdot v^2)}{r}\right)$ é maior em A do que em B.

b) A intensidade da força de contato que o carrinho exerce nos trilhos é dada por:

em A (depressão): $R_C = C_A - P \Rightarrow C_A = P + R_C$

em B (lombada): $R_C = P - C_B \Rightarrow C_B = P - R_C$

De acordo com as duas expressões acima, no ponto A o carro exerce nos trilhos uma força de intensidade maior do que a intensidade do próprio peso.

Retomando

15 I. **Correta**. Considerando que, na direção normal ao tronco há equilíbrio.

II. Incorreta. O agricultor movimenta-se em movimento uniforme (condição dinâmica).

III. **Correta**. Como o movimento é uniforme, a força de atrito equilibra o peso do agricultor e, portanto, tem direção vertical e para cima.

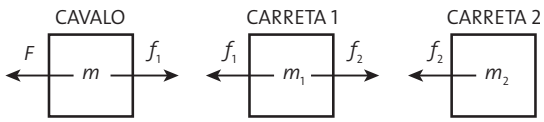
IV. **Correta**. Na condição de equilíbrio, como a intensidade total da compressão trocada entre o agricultor e o tronco é 4*F*, $P = 4\ \mu F$.

V. Incorreta. Caso o coeficiente de atrito diminua, a resultante será para baixo, aumentando a velocidade.

16 Na resolução desta questão, vamos utilizar os resultados obtidos no tópico 1 sobre corpos em movimento horizontal. Como os atritos foram desprezados, a aceleração do sistema (cavalo + carretas) é dada por:

a) $R = F = (m + m_1 + m_2) \cdot a \Rightarrow a = \dfrac{F}{m + m_1 + m_2}$ (I)

As figuras seguintes ilustram os diagramas de forças (somente as horizontais) no cavalo e em cada carreta:



Cavalo: $R_C = F - f_1 \Rightarrow m \cdot a = F - f_1$ (II)

Carreta 1: $R_1 = f_1 - f_2 \Rightarrow m_1 \cdot a = f_1 - f_2$ (III)

Carreta 2: $R_2 = f_2 \Rightarrow m_2 \cdot a = f_2$ (IV)

Substituindo (IV) em (III):

$m_1 \cdot a = f_1 - m_2 \cdot a \Rightarrow f_1 = (m_1 + m_2) \cdot a$

e, substituindo o valor de *a* pela expressão dada em (I), obtemos a expressão pedida:

$$f_1 = (m_1 + m_2) \cdot \frac{F}{m + m_1 + m_2} \Rightarrow f_1 = F \cdot \frac{m_1 + m_2}{m + m_1 + m_2}$$

b) Desprezando-se os atritos, a velocidade da carreta no ponto mais baixo do vale é a mesma de um corpo caindo em queda livre de uma altura de 45 m. O tempo de queda é:

$$h = \frac{g \cdot t^2}{2} \Rightarrow 45 = \frac{10 \cdot t^2}{2} \Rightarrow t = 3{,}0\ \text{s}$$

E a velocidade no ponto mais baixo é:

$v = g \cdot t \Rightarrow v = 10 \cdot 3{,}0 \Rightarrow v = 30$ m/s

17 Cálculo da velocidade: $v = \left(\dfrac{403\,000}{85 \cdot 60}\right) = 80$ m/s (aproximadamente)

Considerando $a = \dfrac{v^2}{r}$, temos:

$0{,}1 \cdot 10 = \dfrac{80^2}{r} \Rightarrow r = 6\,400$ m

Resposta: alternativa **e**.

Compreendendo o mundo

1 Paraquedismo: Não há realização de trabalho pelo animal nesse tipo de movimento, e é caracterizado pela queda em trajetória vertical.

Planeio: Também não existe a realização de trabalho pelo animal nesse movimento, e é caracterizado pela trajetória de subida e/ou de descida retilínea.

Voo propulsionado: Nesse movimento o animal realiza um trabalho, o que difere das demais modalidades.

2 Forma do corpo e da asa do animal.

3 Força de resistência do ar.

4 Resposta pessoal. Essa atividade é para concluir o assunto, levando o aluno a entender que as aves podem praticar as três modalidades de voo, mas os demais animais, não, pois sua estrutura não permite o voo propulsionado.

UNIDADE 3 – Energia e as leis da conservação

CAPÍTULO 7 – Energia, trabalho e potência

Em nossa opinião, o conceito de energia é mais familiar aos alunos do que o conceito de trabalho. Assim, por motivos didáticos, discutimos no tópico 1 as diferentes formas de energia e suas unidades, e no tópico 2, as transformações de energia, apresentando a grandeza que expressa essas transformações – o **trabalho de uma força**.

A rapidez com que as transformações de energia são efetuadas e o rendimento mecânico de máquinas e motores são discutidos no tópico 3. Em seguida, no tópico 4, apresentamos as formas de energia mecânica – energia cinética e energia potencial.

Finalmente, no tópico 5, analisamos os sistemas mecânicos do ponto de vista da conservação de energia mecânica – os sistemas conservativos e os sistemas não conservativos.

1. Formas de energia

A energia é considerada um dos mais importantes conceitos do mundo científico e sua disponibilidade está diretamente ligada ao grau de desenvolvimento socioeconômico de um país ou de uma região. Assim, é fundamental que as formas de energia apresentadas no tópico sejam trabalhadas com os alunos destacando-se os seguintes aspectos: a utilização de energia em todas as nossas atividades diárias, as fontes que podem ser aproveitadas para suprir essa demanda e as transformações energéticas. Na primeira página deste tópico, procuramos conduzir o texto de tal maneira que o seu desfecho fosse o princípio da conservação da energia: *a energia não pode ser criada nem destruída; somente transformada*.

Sugerimos que você utilize o livro *Energia e meio ambiente*, de Hinrichs & Kleinbach, para auxiliar na preparação de suas aulas. A seguir, destacamos um pequeno trecho dessa obra.

> A energia permeia todos os setores da sociedade – economia, trabalho, ambiente, relações internacionais –, assim como nossas próprias vidas pessoais – moradia, alimentação, transporte, lazer e muito mais. O uso dos recursos energéticos nos libertou de muitos trabalhos penosos e tornou nossos esforços mais produtivos. Os seres humanos já dependeram de sua força muscular para gerar a energia necessária para a realização de seus trabalhos. Hoje, menos de 1% do trabalho feito nos países industrializados depende da força muscular como fonte de energia.
>
> Os suprimentos de energia são fatores limitantes primordiais do desenvolvimento econômico. O mundo se tornou muito interdependente e, assim, o acesso a recursos energé-

ticos adequados e confiáveis é central para o crescimento da economia. Em torno de 40% da energia global vem do petróleo, muito do qual é importado do Golfo Pérsico pelas nações industrializadas. Dessa região, o Japão importa dois terços do seu petróleo, os Estados Unidos, 20%, e a França, um terço das suas necessidades de petróleo. Se os países industrializados fossem submetidos a alguma restrição significativa do seu acesso a essas fontes de petróleo, como a redução das jazidas ou grandes aumentos dos preços, com certeza suas economias iriam sofrer danos consideráveis.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. p. 2.

Na sequência, no livro-texto, apresentamos algumas modalidades de energia e suas fontes: mecânica, térmica, química, elétrica, solar, luminosa, sonora e nuclear.

Se você julgar oportuno, poderá comentar sobre a classificação das fontes de energia, como apresentamos no trecho e na tabela a seguir.

Existem várias maneiras de se classificar as fontes de energia. Uma delas predominou depois da crise do petróleo, que é a de separá-las em fontes renováveis e não renováveis. Outra muito comum é a de agrupá-las em convencionais e não convencionais. Aqui, entretanto, as classificaremos de acordo com suas propriedades de transformação, sendo as mais importantes indicadas a seguir.

Fonte de energia	Origem	Transformações de energia
Energia potencial química	Agregações moleculares Biomassa – álcool, óleos vegetais, lenha, carvão vegetal, resíduos agrícolas e florestais, lixo urbano. Fósseis – petróleo, gás natural, carvão mineral, xisto. Outras – hidrogênio, metanol, etc.	energia química → calor → mecânica e eletricidade
Energia potencial nuclear	Agressões nucleares	Fissão e fusão potencial nuclear → calor → eletricidade
Hidroelétrica	Gravidade	mecânica → eletricidade
Energia solar direta	Ação direta da radiação solar	Célula fotovoltaica luz → eletricidade Aquecedor solar luz → calor
Biodigestores	Ação microbiana	material orgânico → gás, adubo e alimento para peixes
Eólica	Movimento dos ventos	mecânica → eletricidade e mecânica
Marítima	Gradiente térmico nos oceanos	calor → eletricidade
Marés	Devido principalmente à gravidade da Lua	Mecânica → eletricidade
Geotérmica	Calor interno da Terra	Geisers calor → eletricidade Erupções vulcânicas calor → eletricidade
Magneto-hidrodinâmica	Ionização dos plasmas	Carvão calor → eletricidade

A inclusão da biomassa como fonte de energia potencial química é devido à maneira como é transformada em energia útil, mas também podia ser enquadrada como energia solar por causa do modo como é produzida.

Da mesma maneira, as energias hidráulica, eólica e marítima são resultado da ação atual do Sol na atmosfera e na superfície da Terra. Já os combustíveis fósseis são também resultado da ação do Sol, mas os depósitos em exploração foram formados há centenas de milhões de anos.

ACIOLI, José de Lima. *Fontes de energia*. Brasília: Ed. da UnB, 1994. p. 16-17.

Fechamos o tópico com as unidades de energia. Embora o **joule** seja a principal unidade de energia, até mesmo no Sistema Internacional, existem outras muito utilizadas na prática: quilowatt-hora (kWh), calorias (cal) e unidade térmica britânica (Btu).

Para refletir

As pessoas que utilizam energia solar para aquecimento de água nas residências, em vez de energia elétrica, estão colaborando com a preservação do meio ambiente, pois estão utilizando uma energia "limpa" – não poluente – e que não agride o meio ambiente com destruição da fauna e da flora com o represamento de água, como acontece nas construções das usinas hidrelétricas.

Física tem História

Dada a importância do assunto, inserimos neste tópico o texto *Energia eólica*. Por que a participação da energia eólica na produção mundial de energia elétrica ainda é pequena?

Sugerimos que você, após a leitura do texto, organize a turma em equipes de quatro alunos para a realização da pesquisa proposta no livro – participação da energia eólica na geração de energia elétrica no Brasil e no mundo. Para isso, é importante que o professor faça uma consulta preliminar ao *site* sugerido como fonte (da Agência Nacional de Energia Elétrica, disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: set. 2015) para orientar os alunos. Sugerimos também que essa pesquisa seja apresentada com um trabalho, em forma de relatório ilustrado com gráficos de barras, e que, se possível, seja feita a inclusão dele no processo de avaliação.

2. O trabalho de uma força

Inicialmente, procuramos mostrar que o trabalho realizado por uma força (ou simplesmente o trabalho de uma força) é a medida das transformações de energia. Em seguida, mostramos como se calcula o trabalho a partir de uma força e um deslocamento. Julgamos ser essa a maneira adequada para os alunos entenderem o conceito.

Embora a grandeza **trabalho** seja escalar, é importante o professor enfatizar as posições relativas dos vetores que representam a força e o deslocamento, pois elas determinam o tipo de trabalho realizado – motor, resistente ou nulo.

O professor deve utilizar o Exercício resolvido 1 para mostrar o cálculo do trabalho de uma força (nesse caso, a força peso) e mostrar o que acontece com a energia cinética e com a energia potencial durante a queda de um corpo, quando se despreza a resistência do ar.

Física explica

Na seção *Força × deslocamento*, discutimos a realização de trabalho em uma situação prática: a colocação de uma geladeira na carroceria de um caminhão. Sugerimos que as duas questões levantadas no início desta seção sejam colocadas em discussão com os alunos antes da leitura do texto.

Em relação a essas questões, apresentamos alguns comentários. A utilização da rampa tem como objetivo diminuir a força exercida pela pessoa para colocar a geladeira na carroceria do caminhão; em contrapartida, esse procedimento tem como consequência o aumento da distância percorrida pela geladeira.

O mesmo raciocínio se aplica às estradas construídas em zigue-zague, em áreas montanhosas – assunto que fecha a seção. Se os veículos subissem em linha reta, percorreriam uma distância menor para chegar ao topo, mas os motores ficariam sujeitos a esforços maiores.

3. Potência mecânica e rendimento

Procuramos, sempre que possível, partir de um questionamento prático para iniciar o tópico. Nesse caso, apresentamos duas possibilidades para chegar ao quinto andar de um prédio: o elevador ou a escada. Em qual das situações o trabalho é maior? Quem é mais potente; o motor do elevador ou o corpo humano?

Para refletir

Em geral, para subir alguns andares de um prédio as pessoas preferem utilizar o elevador por ser mais cômodo do que subir a escada. Entretanto, com essa atitude perdemos a oportunidade de contribuir para a economia de energia, bem como de realizar atividades que contribuem para uma vida mais saudável, com a prática de exercícios físicos.

Você poderá efetuar algumas comparações de potência desenvolvida por alguns equipamentos utilizados pelo ser humano ao longo da história com base na tabela seguinte.

Avanços cronológicos da potência de equipamentos

Equipamento	Data	Potência desenvolvida (hp)
Homem usando uma alavanca	3000 a.C.	0,05
Boi puxando uma carga	3000 a.C.	0,5
Turbina de água	1000 a.C.	0,4
Roda-d'água vertical	350 a.C.	3
Moinho de vento	1600	14
Máquina a vapor de Savery	1697	1
Máquina a vapor de Newcomen	1712	5,5
Máquina a vapor de Watt (terrestre)	1800	40
Máquina a vapor naval	1837	750
Máquina a vapor naval	1843	1500
Turbina de água	1854	800

Avanços cronológicos da potência de equipamentos

Equipamento	Data	Potência desenvolvida (hp)
Máquina a vapor naval	1900	8000
Máquina a vapor terrestre	1900	12000
Turbina a vapor	1906	17500
Turbina a vapor	1921	40000
Turbina a vapor	1943	288000
Usina de eletricidade a vapor produzida pela queima de carvão	1973	1465000
Energia nuclear	1974	1520000

COOK, E. Man, Energy, Society. San Francisco: W. H. Freeman and Co, 1976. In: GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. *Energia, meio ambiente & desenvolvimento*. São Paulo: Edusp, 2003. p. 43.

Sugerimos a utilização do item **rendimento** para comentários sobre as vantagens e as desvantagens da utilização de automóveis equipados com motores elétricos, em virtude de seu rendimento (90%) em comparação aos motores convencionais, a gasolina (30%), a álcool (35%) e a *diesel* (40%). Para isso, sugerimos o seguinte texto.

Carros híbridos

Muitos ambientalistas defendem o uso do carro elétrico como a solução para a emissão de gases poluentes nas grandes cidades, mas esses veículos apresentam um problema quanto a sua autonomia. Enquanto os carros convencionais rodam cerca de 300 km com um tanque de gasolina, os carros elétricos mais modernos têm autonomia de 160 km. Essa diferença se deve ao fato de que a tecnologia conhecida para armazenamento de energia elétrica, as famosas baterias, não conseguem armazenar uma grande quantidade de energia e, por isso, os carros elétricos perdem nesse quesito para os carros a combustão.

Para resolver esse problema, uma das soluções encontradas é o carro híbrido. Carros híbridos são automóveis impulsionados tanto pelo motor a combustão quanto pelo motor elétrico. Mas afinal de contas, qual é a vantagem de se ter dois motores? Se o objetivo era reduzir a poluição, para que usar o motor a combustão?

O momento em que mais utilizamos o motor do carro é quando o aceleramos para que ele comece a andar; com os diversos semáforos e congestionamentos é cada vez maior a frequência com que paramos e arrancamos com o carro, gastando cada vez mais combustível. O motor elétrico vem com essa função, [pois é projetado] para ter um torque grande em baixa rotação, impulsionando o carro em velocidades de até 64 km/h. Ao alcançar essa velocidade, o motor a combustão entra em ação, impulsionando o carro para velocidades mais altas. Além de fazer o carro andar, o motor a combustão também carrega as baterias do motor elétrico.

Outra vantagem do motor elétrico é que ele pode funcionar como gerador e carregar as próprias baterias, e ele faz isso quando freamos o carro. Lembra do sistema dos carros de Fórmula 1, o KERS, que carrega a bateria durante a frenagem dos carros na corrida? Esse mesmo sistema está presente nesses carros. Além disso, com a presença do motor elétrico, o motor a combustão não precisa ser tão grande quanto os motores dos carros atuais. Ele é menor e mais leve, o que ajuda a eco-

nomizar combustível. Alguns desses carros conseguem fazer 25 km/L na cidade [e já existem projetos em desenvolvimento para alcançar a marca dos 67 km/L].

Texto do *site* da Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <www.ufmg.br/online/web/arquivos/013254.shtml>. Acesso em: set. 2015.

No item ***Horse-power* e cavalo-vapor**, julgamos oportuna a contribuição do professor de História em relação à Revolução Industrial, ocorrida na Inglaterra a partir do século XVIII. Sugerimos um trabalho conjunto: o professor de História poderá fazer a abertura, discutindo as causas e as consequências da Revolução Industrial.

Para apoiar esse trabalho, incluímos o texto a seguir, que reforça essa relação História-Ciência:

"[...] a Revolução Industrial constitui um estímulo à atividade científica, estando esta voltada para problemas suscitados pela indústria; é neste sentido que a Termodinâmica evolui. Não se pode negar, no entanto, que as inovações tecnológicas sejam aplicações do pensamento científico, como por exemplo, a máquina a vapor. Segundo J. D. Bernal, mudanças político-socioeconômicas e conquistas científicas e tecnológicas não ocorrem independentemente. Ainda J. D. Bernal, em *História Social de la Ciência*, reflete sobre as consequências desta interdependência:

Na realidade, quanto mais estreitas são as relações entre a ciência, a técnica, a economia e a política do período, mais claramente se mostra a formação de um processo único de transformação da cultura. Tal período é de capital importância para o progresso da humanidade.

O período da Revolução Industrial se insere nitidamente nesta reflexão, tendo a Termodinâmica um importante papel neste processo de transformação."

ROCHA, J. F. M. (Org.). *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: Edufba, 2002. p. 141.

4. Energia mecânica: cinética e potencial

Neste tópico analisamos as formas de energia mecânica de um corpo – cinética e potencial. Na ilustração dessas duas formas de energia, usamos novamente a montanha-russa.

Para a energia cinética – energia associada ao movimento de um corpo – usamos como exemplo o bate-estacas. É importante destacar a interdependência da energia cinética com a velocidade: ao dobrarmos a velocidade de um corpo, a energia cinética quadruplica. Nesse sentido, o gráfico da energia cinética em função da velocidade para um carro com massa de 1000 kg e os exemplos citados no Livro do Aluno são fundamentais para a discussão sobre a distância de seguimento que os motoristas devem manter nas ruas e rodovias.

Para refletir

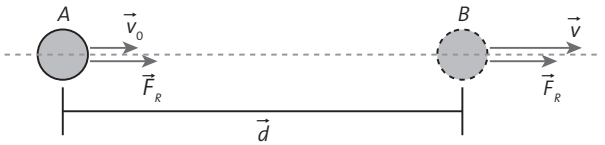
De acordo com o gráfico da figura 7.29, a energia cinética do carro a 36 km/h é aproximadamente 50 kJ, e a 108 km/h, 450 kJ. Observamos que o segundo valor é 9 vezes o primeiro. Isso significa que o deslocamento correspondente à variação de velocidade de 36 km/h para 108 km/h é igual a 9 vezes o deslocamento que corresponde à variação de velocidade de 0 a 36 km/h.

Devemos observar que os exemplos numéricos citados com base no gráfico servem como ponto de partida para os comentários sobre o teorema da energia cinética: o trabalho resultante é igual à variação de energia cinética. Esse assunto é complementado pelo Exercício resolvido 2.

Teorema da energia cinética

Julgamos que não seria necessário incluir, no Livro do Aluno, a dedução do teorema da energia cinética. Entretanto, se o professor julgar conveniente, poderá apresentá-la, conforme o caso particular a seguir.

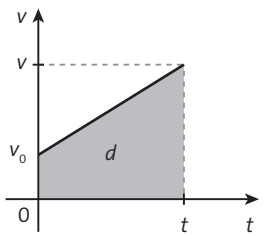
Suponha que um carro com velocidade inicial $\vec{v}_0$ receba a ação de uma força resultante $\vec{F}_R$ e, após um deslocamento $\vec{d}$, sua velocidade é $\vec{v}$, conforme mostra a figura.



No deslocamento $\vec{d}$, de *A* até *B*, o trabalho da força resultante $\vec{F}_R$ é dado por:

$\tau_R = F_R \cdot d \cdot \cos 0° \Rightarrow \tau_R = F_R \cdot d$ (I)

O deslocamento *d* pode ser relacionado com as velocidades *v* e v_0 por meio do gráfico:



O módulo do deslocamento (*d*) corresponde à área do trapézio:

$$d = \frac{v + v_0}{2} \cdot t \text{ (II)}$$

Na função horária da velocidade ($v = v_0 + a \cdot t$), obtemos:

$$t = \frac{v - v_0}{a} \text{ (III)}$$

Substituindo (III) em (II), obtemos:

$$d = \frac{v + v_0}{2} \cdot \frac{v - v_0}{a} \Rightarrow d = \frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot a} \text{ (IV)}$$

Substituindo (IV) em (I) e aplicando a segunda lei de Newton ($F_R = m \cdot a$), obtemos:

$$\tau_R = F_R \cdot d \Rightarrow \tau_R = m \cdot a \cdot \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2a}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau_R = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m - v_0^2}{2a}$$

Como a expressão $\frac{m \cdot v^2}{2}$ representa a energia cinética do carro, temos:

$\tau_R = E_{C(\text{final})} - E_{C(\text{inicial})} \Rightarrow \tau_R = \Delta E_C$

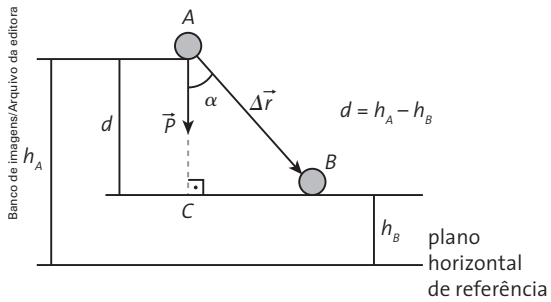
Energia potencial

Vejamos agora alguns comentários sobre a energia potencial gravitacional. É importante salientar para os alunos que, ao calcular a energia potencial gravitacional de um corpo que se encontra a uma altura *h* acima do solo, estamos, na realidade, calculando a energia potencial gravitacional armazenada no sistema corpo-Terra. Essa energia armazenada ($E_{PG} = m \cdot g \cdot h$) corresponde ao trabalho que pode ser realizado pela força peso do corpo.

Novamente, se você julgar necessário, poderá demonstrar a relação entre o trabalho realizado pela força peso (força conservativa) e a variação de energia potencial gravitacional, conforme esquematizado a seguir.

A figura seguinte ilustra um corpo que é deslocado de um ponto *A* (altura h_A) para um ponto *B* (altura h_B). Observe que as alturas foram medidas em relação a um plano horizontal de referência.

Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora



O trabalho realizado pela força peso, no deslocamento do corpo de *A* até *B*, é dado por:

$\tau_P = P \cdot d$

Na figura, observamos que $d = h_A - h_B$. Lembrando também que $P = m \cdot g$, obtemos:

$\tau_P = m \cdot g \cdot (h_A - h_B) \Rightarrow \tau_P = m \cdot g \cdot h_A - m \cdot g \cdot h_B$

De acordo com a definição de energia potencial gravitacional ($E_{PG} = m \cdot g \cdot h$), a relação acima pode ser escrita da seguinte maneira:

$\tau_P = E_{PG(A)} - E_{PG(B)} \Rightarrow \tau_P = -\Delta E_{PG}$

É sempre bom deixar claro aos alunos que, no Exercício resolvido 3 do Livro do Aluno, calculamos o trabalho realizado pelo operário. Se calculássemos o trabalho realizado pela força peso da caçamba, o resultado seria $\tau_P = -800$ J.

Fechando este tópico, discutimos também a energia potencial elástica. Ampliando o estudo da elasticidade dos corpos, iniciado no Capítulo 5, enfatizamos agora a energia que pode ser armazenada nos sistemas elásticos. O Exercício resolvido 4 mostra uma aplicação prática da energia armazenada em uma mola usada para impulsionar um bloco.

5. Sistemas mecânicos conservativos e sistemas mecânicos não conservativos

O fundamental, neste tópico, é a lei da conservação da energia. O professor deve enfatizar que, quando dizemos que a energia total permanece constante, estamos nos referindo a todas as formas de energia – e não a uma delas, em particular.

Ao tratarmos especificamente da energia mecânica, podemos ter conservação de energia ou não. Havendo conservação, temos intercâmbio entre as energias cinética e potencial gravitacional e/ou elástica. Por exemplo: em um sistema conservativo, o aumento da energia cinética acontece à custa de uma diminuição da energia potencial – e vice-versa.

Nos sistemas em que não há conservação de energia mecânica – os chamados sistemas não conservativos –, uma parte da energia mecânica é transformada em outras modalidades de energia, tais como térmica e/ou sonora, entre outras.

Trabalho em equipe

Sugerimos que você utilize essa atividade para discutir um tema que certamente atrai a atenção dos jovens: as corridas de Fórmula 1.

Aproveite o tema para a discussão sobre o aproveitamento de energia nas frenagens, conservação de energia, consumo de combustível, rendimento e também sobre a participação dos pilotos brasileiros após a era Ayrton Senna da Silva (1960-1994), tricampeão mundial.

Experimento

Programamos para este capítulo uma atividade bem simples e que pode ser realizada em sala de aula com os alunos reunidos em equipe (quatro ou cinco participantes).

O objetivo é analisar um sistema mecânico constituído por um bloco que escorrega em uma rampa com o intuito de verificar se a energia mecânica se conserva ou não. O bloco e a rampa, ambos de madeira, são os mesmos utilizados na atividade prática do capítulo anterior.

Antes de os alunos iniciarem os trabalhos, sugerimos ao professor que faça uma demonstração do experimento e questione-os sobre os procedimentos para verificar a conservação da energia mecânica.

Com as medidas realizadas na atividade, temos condições de calcular a energia potencial gravitacional no início do movimento e a energia cinética no final do movimento do bloco. A comparação entre elas nos possibilita concluir se houve ou não conservação da energia mecânica.

Em relação às questões propostas nessa atividade, apresentamos os possíveis resultados que serão obtidos pelos alunos.

1. Os valores obtidos para a energia mecânica do bloco nos pontos *A* e *B* vão depender da altura da rampa e do grau de polimento da rampa.

2. Dificilmente se obtém um sistema conservativo. A energia cinética do bloco no final da rampa certamente será menor do que a energia potencial gravitacional do bloco do alto da rampa.

3. De acordo com as afirmações na questão 2, o sistema é dissipativo (não conservativo), ou seja, uma parte da energia mecânica se transforma em energia térmica durante a descida do bloco.

4. As forças que realizam trabalho durante o movimento do bloco ao longo da rampa são: a força peso e a força de atrito. O trabalho da força peso é igual à energia potencial gravitacional do bloco no ponto *A* (início do movimento) e o trabalho da força de atrito é igual à variação de energia mecânica entre os pontos *A* e *B*.

5. Sim. A conservação da energia (total) acontece em todos os sistemas, sejam eles dissipativos ou não.

Em construção

Nesse capítulo, apresentamos três físicos que contribuíram para a construção dos alicerces referentes a essa grandeza que se tornou, ao longo dos anos, a base da sobrevivência do ser humano: a energia.

A escolha de iniciarmos com James P. Joule se deve ao fato de ele estar ligado intimamente ao princípio da conservação de energia e ao equivalente mecânico do calor.

Destacamos, também, as participações de Benjamin Thompson, também conhecido como Conde Rumford, e do médico alemão Julius Robert Mayer.

Atividade complementar

Energia e suas transformações, meio ambiente e desenvolvimento

Esta atividade complementar tem como objetivo fornecer aos alunos conhecimentos adequados dos processos científicos e tecnológicos que envolvem as transformações de energia – um dos principais fatores de desenvolvimento de um país – e suas relações com o meio ambiente, para que consigam participar efetivamente dos debates sobre um dos principais problemas da humanidade: a crise energética.

A justificativa para esta proposta encontra-se nas palavras do professor José de Lima Acioli:

> Depois da crise do petróleo, em 1973, a discussão de nossos problemas energéticos ultrapassou os limites das empresas energéticas e generalizou-se no Brasil, a exemplo do que se fazia no mundo inteiro. Em consequência, formaram-se vários grupos de planejamento energético, chegando mesmo em algumas universidades a serem criados cursos de pós-graduação nessa área. Ambos tiveram uma grande influência nas decisões das empresas energéticas, ao discutirem e criticarem seus planejamentos, sobretudo por apresentarem alternativas aos modelos tradicionais, com ênfase nos aspectos sociais e ecológicos, ao lado dos interesses puramente econômicos.
>
> O debate suscitou o interesse da imprensa e do público em geral, embora um grande número de pessoas envolvidas não tivesse um conhecimento adequado para tais discussões.

Diante desses fatos, sugerimos esta atividade interdisciplinar com os professores de Química, Biologia, História e Geografia. Nesse caso, é importante que, em uma reunião com os demais professores, sejam estabelecidos os objetivos e os critérios de avaliação que, preferencialmente, deverão ser comuns a todas as disciplinas.

Como proposta de trabalho, sugerimos que sejam formadas três equipes de alunos e que cada uma fique responsável pela leitura e apresentação, em forma de seminário, de cada um dos livros indicados a seguir.

- ***Energia e meio ambiente***, de Roger A. Hinrichs e Merlin Kleinbach (Pioneira/Thomson Learning: São Paulo, 2003). Os autores são professores da Universidade Estadual de Nova York, College at Oswego, há mais de 20 anos.

  Os autores apresentam *Energia e meio ambiente* como "um livro introdutório que enfatiza os princípios físicos por trás do uso da energia e seus efeitos sobre nosso ambiente", e abordam a desregulação e o aumento da competição no setor de geração de energia e o crescente compromisso global com as fontes de energia renováveis. Ao examinar os diferentes aspectos de cada recurso energético, são tratados os princípios físicos envolvidos e as consequências ambientais e econômicas do uso de cada um, enfatizando o impacto ambiental decorrente do consumo de combustíveis fósseis, a poluição atmosférica e o aquecimento global.

- ***Energia, meio ambiente & desenvolvimento***, de José Goldemberg e Luz Dondero Villanueva (2. ed. São Paulo: Edusp, 2003). Os autores são doutores pela Universidade de São Paulo. José Goldemberg foi presidente da Companhia Energética de São Paulo, secretário do Meio Ambiente da Presidência da República, ministro da Educação do Governo Federal e secretário do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. É autor de inúmeros trabalhos técnicos e vários livros sobre Física Nuclear, meio ambiente e energia.

  São apresentados, de início, um panorama dos conceitos de energia e a visão dos economistas sobre o desenvolvimento e, a seguir, é descrita a noção corrente de energia relacionada com os problemas de degradação ambiental, examinando-lhes as causas e as soluções técnicas. Por fim, discutem-se os programas gerais e específicos para promover o desenvolvimento energético sustentável.

- ***Fontes de energia***, de José de Lima Acioli (Brasília: UnB, 1994). O autor, falecido em 2007, foi professor titular do Departamento de Física da Universidade de Brasília e coordenador do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Energia.

  Neste livro, são discultidas as principais fontes energéticas, tanto as convencionais como as alternativas, suas reservas e o estágio atual de suas transformações em energia útil. As diversas opções brasileiras são analisadas quanto a seus aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais.

  Para atualização de alguns dados dos livros, sugerimos ao professor que recomende aos grupos de alunos a consulta à *Resenha Energética 2012*. Disponível em: <www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acesso em: set. 2015.

A seguir, indicamos alguns pontos que julgamos importantes para a apresentação dos alunos:

- perspectivas atuais e futuras da energia;
- energia e atividades humanas;
- o consumo mundial de energia;
- fontes alternativas de energia;
- energia e desenvolvimento;
- poluição do ar;
- aquecimento global;
- destruição da camada de ozônio;
- resíduos de calor.

Sugerimos que a apresentação dos alunos seja feita por meio de cartazes fixados na sala de aula e orientada por você por meio de perguntas e debates.

Resoluções dos exercícios

1 Nesta questão, sugerimos ao professor dar alguns exemplos de crises energéticas. A seguir, você pode enunciar o princípio de conservação de energia e mostrar que essas duas informações são aparentemente um paradoxo. Para explicar a questão, você pode dizer que a energia não é perdida, mas sim transformada. Alguns exemplos seriam interessantes: a energia de um rio é transformada em energia elétrica nas hidrelétricas. A energia química dos alimentos é transformada em energia para nos movermos. A seguir, pode dizer que alguns tipos de energia, quando são transformadas em outras formas, não conseguem ser utilizadas pelo homem. Um exemplo que pode ser explorado é quando soltamos uma bola de borracha de certa altura. A bola bate no chão e volta em uma altura menor que a inicial. Ela não volta à sua altura inicial, pois uma parte da sua energia foi dissipada na forma de som e calor (quando a bola atingiu o chão). A seguir, você pode dizer que a energia total é conservada, mas que em algumas situações a energia não é transformada em certos tipos de energia que podem ser aproveitadas.
Sugerimos que uma bola de borracha seja levada para fazer esse experimento.

2 Devido ao princípio de conservação de energia, em qualquer tipo de transformação há conservação de energia. Sugerimos aqui que sejam descritos alguns processos de transformação de energia e que seja salientado que nos processos naturais boa parte da energia é transformada em calor e som, sem violar o princípio de conservação de energia.

Resposta: alternativa **a**.

3 a) Observe que, na foto, o arco está retesado. Portanto, temos que a forma de energia é potencial elástica.

b) Quando a flecha é lançada, temos a transformação de energia potencial elástica em energia cinética, pois a flecha adquire velocidade.

4 a) A energia mecânica do carro **não** se conserva, pois a energia cinética diminui devido à redução de velocidade, embora a energia potencial permaneça constante.

b) Como durante a frenagem as rodas estão travadas, o carro desliza na pista até parar. Nesse caso, há um aumento da temperatura, tanto dos pneus como do solo. Isso significa dizer que a energia cinética de movimento do carro é transformada em energia térmica devido ao atrito dos pneus com o solo.

5 Ao desprezarmos a resistência do ar, estamos admitindo que a energia potencial associada a um corpo situado a uma altura h acima do solo é integralmente transformada em energia cinética durante a queda desse corpo até o solo. Portanto:

a) Ao atingir o solo, o corpo possui somente **energia cinética**.

b) Ao ser abandonado, o corpo possui somente **energia potencial**.

c) Durante a queda, a única força que age no corpo é a **força peso** (atração gravitacional da Terra). Portanto, essa é a força que realiza trabalho.

6 a) À medida que a criança sobe pela escada, sua altura aumenta e a força peso realiza trabalho. Como o deslocamento é para cima e a força peso é para baixo, o trabalho realizado por ela é resistente.

b) Desprezando o atrito, a velocidade com que as crianças chegam ao solo é a mesma para todas elas. Mas, a energia cinética é maior para aquela que possuir maior massa.

7 a) Embora a força resultante no carro seja nula, existem forças atuando sobre o carro: peso, contato, resistência do ar e a força motora. Como a pista é horizontal e retilínea, as forças peso e de contato **não** realizam trabalho, pois são perpendiculares ao deslocamento. Por outro lado, as forças do motor e de resistência do ar realizam trabalho motor e resistente, respectivamente.

b) Em uma descida com velocidade constante, sem a utilização do pedal do acelerador, a força de contato (normal) não realiza trabalho. A força peso realiza trabalho motor e as forças do motor (freio motor) e de resistência do ar realizam trabalho resistente.

8 a) De acordo com a figura, o deslocamento do bloco é horizontal e para a direita. Como as forças normal ($\vec{N}$) e peso ($\vec{P}$) são verticais, elas são perpendiculares ao deslocamento e, portanto, não realizam trabalho. Assim, as forças que realizam trabalho são: a força $\vec{F}$ e a força de atrito ($\vec{A}$), pois apresentam uma componente na direção do deslocamento.

b) Sendo $F = 50$ N, $A = 25$ N, $d = 10$ m e $\cos\theta = 0{,}80$, obtemos:

$\tau_F = F \cdot d \cdot \cos\theta \Rightarrow \tau_F = 50 \cdot 10 \cdot 0{,}80 \Rightarrow \tau_F = 400$ J

$\tau_A = A \cdot d \cdot \cos 180° \Rightarrow \tau_A = 25 \cdot 10 \cdot (-1) \Rightarrow \tau_A = -250$ J

9 a) As forças que realizam trabalho no trenó são: a força produzida pela equipe de cachorros (trabalho motor) e a força de atrito (trabalho resistente). Como a velocidade do trenó é constante, essas duas forças possuem o mesmo módulo, a mesma direção, mas sentidos contrários. Portanto, o trabalho realizado pela força da equipe de cachorros é igual, em módulo, ao trabalho da força de atrito.

b) $\tau_{F(\text{cach.})} = F_c \cdot d \cdot \cos 0° \Rightarrow \tau_{F(\text{cach.})} = 50 \cdot 20 \cdot 1 \Rightarrow$
$\Rightarrow \tau_{F(\text{cach.})} = 1000$ J

10 a) De acordo com a tabela, os trabalhos realizados pelos motores são: motor A, 200 J; motor B, 4 000 J; motor C, 50 000 J. Portanto, o motor C é o que realiza o maior trabalho.

b) Sendo a potência dada pela relação entre o trabalho realizado e o intervalo de tempo gasto na realização do trabalho $\left(P = \frac{\tau}{\Delta t}\right)$, obtemos, para cada motor:

$P_A = \frac{200 \text{ J}}{2 \text{ s}} = 100$ W

$P_B = \frac{4\,000 \text{ J}}{20 \text{ s}} = 200$ W

$P_C = \frac{50\,000 \text{ J}}{500 \text{ s}} = 100$ W

Comparando os valores, verificamos que o motor B é o mais potente.

11 Com os dados obtidos pela equipe de engenheiros, a energia útil da máquina é dada por:

$E_{\text{útil}} = E_{\text{total}} - E_{\text{dissipada}} \Rightarrow E_{\text{útil}} = 2\,500 - 1\,500 \Rightarrow E_{\text{útil}} = 1\,000$ J

E o rendimento real da máquina é:

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}} \Rightarrow \eta = \frac{\frac{E_{\text{útil}}}{\Delta t}}{\frac{E_{\text{total}}}{\Delta t}} \Rightarrow \eta = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{total}}} \Rightarrow \eta = \frac{1000}{2500} \Rightarrow$$

$\Rightarrow \eta = 0{,}4$ (40%)

A máquina **não** apresenta o rendimento divulgado pelo inventor.

12 a) O trabalho realizado pela força do motor é:

$\tau = F \cdot d \Rightarrow \tau = 2000 \cdot 1000 \Rightarrow \tau = 2000000 \text{ J} = 2 \cdot 10^6$ J

b) O consumo de energia proveniente do combustível corresponde aos 100% de energia recebida pelo motor. Assim, como 40% correspondem a $2 \cdot 10^6$ J, então 100% correspondem a:

$$\begin{matrix} 40\% & \text{——} & 2 \cdot 10^6 \\ 100\% & \text{——} & x \end{matrix} \Rightarrow x = \frac{100 \cdot 2 \cdot 10^6}{40} \Rightarrow x = 5 \cdot 10^6 \text{ J}$$

13 a) Um motor de 80 cv corresponde a 80 cavalos típicos.

b) Equacionando: se 1 cv corresponde à potência para erguer 75 kg a uma velocidade média de 1 m/s, então 100 cv serão suficientes para erguer um bloco de massa m à mesma velocidade. Logo, o valor da massa m é:

$$\begin{matrix} 1 \text{ cv} & \text{——} & 75 \text{ kg} \\ 100 \text{ cv} & \text{——} & m \end{matrix} \Rightarrow m = 100 \cdot 75 \Rightarrow m = 7\,500 \text{ kg}$$

14 A potência utilizada pelo motor é dada por:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{mgh}{\Delta t} \Rightarrow P = \frac{(250 + 70) \cdot 9{,}8 \cdot 600}{10 \cdot 60} \Rightarrow$$

$\Rightarrow P = 3136$ W

Resposta: alternativa **c**.

15 O trabalho realizado pelo halterofilista sobre o haltere é o mesmo, pois não houve mudança na massa do haltere nem na altura. Como somente houve mudança no tempo de realização do trabalho, a grandeza física que mudou de uma semana para a outra foi a **potência** desenvolvida pelo halterofilista.

Resposta: alternativa **c**.

16 De acordo com o teorema da energia cinética, obtemos:

$\tau_{\text{total}} = \Delta E_c \Rightarrow \tau_{\text{total}} = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$

Sendo $v_0 = 0$:

$\tau_{total} = \frac{90 \cdot (12)^2}{2} \Rightarrow \tau_{total} = 6{,}5 \cdot 10^3$ J.

Resposta: alternativa **b**.

17 a) O teorema da energia cinética aplicado a cada um deles nos fornece o trabalho realizado pela força responsável pela parada do veículo. Assim, temos:

Automóvel: $\tau_{força} = \Delta E_c \Rightarrow \tau_{força} = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$

Sendo $v = 0 \Rightarrow \tau_{força} = - \frac{1500 \cdot \left(\frac{108}{3{,}6}\right)^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau_{força} = - 6{,}75 \cdot 10^5$ J

Caminhão: $\tau_{força} = \Delta E_c \Rightarrow \tau_{força} = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$

Sendo $v = 0 \Rightarrow \tau_{força} = - \frac{6\,000 \cdot \left(\frac{54}{3{,}6}\right)^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau_{força} = - 6{,}75 \cdot 10^5$ J

Portanto, o módulo do trabalho da força responsável pela parada do veículo é igual para os dois.

b) Sendo $\tau = F \cdot d \cdot \cos\theta$, como o trabalho da força foi o mesmo para os dois veículos e sabendo-se que ambos percorrem a mesma distância até parar, concluímos que o módulo da força retardadora é igual para os dois veículos.

18 a) Em relação ao topo da estaca, a energia potencial gravitacional do bloco vale:

$E_{PG} = m \cdot g \cdot h \Rightarrow E_{PG} = 2\,000 \cdot 10 \cdot 1{,}0 \Rightarrow E_{PG} = 20\,000$ J

b) Para o motor levar o bloco de volta à sua posição original, o trabalho útil deve ser de 20 000 J, que é a energia potencial gravitacional do bloco na posição original, conforme calculado no item **a**. Como o rendimento do motor é 25%, então a energia total despendida pelo motor é:

$\begin{matrix} 20\,000 \text{ J} & \text{——} & 25\% \\ x & \text{——} & 100\% \end{matrix} \Rightarrow x = 20\,000 \cdot \frac{100}{25} \Rightarrow x = 80\,000$ J

Sugerimos comentar que após a batida a estaca desce um pouco. Portanto, a energia necessária para levá-lo de volta é um pouco maior que 80 000 J.

19 Em relação ao solo, o sistema jovem-corda tem energia potencial gravitacional, porque ele está a 15,0 m de altura; além disso, possui energia potencial elástica, pois a corda está alongada em 2,0 m; e possui também energia cinética, pois o sistema está em movimento com velocidade de 3,0 m/s.

20 No ponto mais alto da montanha-russa, a velocidade do carrinho é nula. Assim, nesse ponto, sua energia mecânica é igual à energia potencial gravitacional, ou seja, $6 \cdot 10^4$ J. Portanto, a massa do carrinho vale:

$E_{PG} = m \cdot g \cdot h \Rightarrow 6 \cdot 10^4 = m \cdot 10 \cdot 30 \Rightarrow m = 200$ kg

a) Como os atritos foram desprezados, a energia mecânica se conserva. Assim, no ponto 1, a energia mecânica vale $6 \cdot 10^4$ J. Nesse ponto, a energia potencial gravitacional é dada por:

$E_{PG} = m \cdot g \cdot h \Rightarrow E_{PG} = 200 \cdot 10 \cdot 20 \Rightarrow E_{PG} = 4 \cdot 10^4$ J

Nessa situação, a energia cinética vale:

$E_M = E_C + E_{PG} \Rightarrow 6 \cdot 10^4 = E_C + 4 \cdot 10^4 \Rightarrow E_C = 2 \cdot 10^4$ J

b) Sendo o sistema conservativo, a energia mecânica no ponto 2 é igual à energia mecânica no ponto 1 ou em qualquer outro ponto da trajetória do carrinho, ou seja, $6 \cdot 10^4$ J.

c) De acordo com a conservação da energia mecânica, escrevemos, para os pontos 1 e 2:

$(E_C + E_{PG})_1 = (E_C + E_{PG})_2$

Como a altura do ponto 1 é maior do que a do ponto 2, a energia potencial gravitacional no ponto 1 é maior que a do ponto 2. Assim, de acordo com a relação anterior, a energia cinética no ponto 1 é menor do que a energia cinética no ponto 2. Isso significa que a velocidade do carrinho é maior no ponto 2 do que no ponto 1.

21 Como se trata de uma queda livre, não vamos considerar a resistência do ar. Assim, o sistema é conservativo, ou seja, a energia potencial gravitacional da bola no ponto situado a 5,0 m do solo é totalmente transformada em energia cinética da bola ao atingir o solo. Portanto, a velocidade com que a bola atinge o solo é dada por:

$m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow 10 \cdot 5{,}0 = \frac{v^2}{2} \Rightarrow v = 10$ m/s $= 36$ km/h.

22 De acordo com o princípio de conservação de energia, quando o garoto utilizar o estilingue, temos que a energia potencial elástica armazenada nas tiras de borracha do estilingue se transforma em energia cinética da pedra:

$E_{elást.} = E_{cin.} \Rightarrow \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow k \cdot x^2 = m \cdot v_0^2$

Com base na lei de Hooke ($F = k \cdot x$), a expressão acima pode ser escrita como:

$k \cdot \left(\frac{F}{k}\right)^2 = m \cdot v_0^2 \Rightarrow \frac{F^2}{k} = m \cdot v_0^2 \Rightarrow v_0^2 = \frac{F^2}{m \cdot k}$ (1)

Por outro lado, no lançamento oblíquo com um ângulo θ com a horizontal, o alcance D é dado por:

$D = \frac{v_0^2 \cdot \text{sen}\,\theta}{g}$ (2)

Substituindo a expressão (1) em (2), temos:

$D = \frac{F^2 \cdot \text{sen}\,2\theta}{m \cdot k \cdot g}$

onde observamos que o alcance D é inversamente proporcional à constante elástica da borracha, pois F, θ, m e g são constantes. Assim:

$k_d = 2 \cdot k_m \Rightarrow \frac{D_d}{D_m} = \frac{1}{2}$

Resposta: alternativa **b**.

23 a) Para que um jovem, partindo do repouso do alto do tobogã, atinja o nível da água com velocidade máxima, não pode haver perda de energia mecânica no sistema, ou seja, toda a energia potencial gravitacional do sistema jovem-Terra no ponto mais alto do tobogã deve ser transformada em energia cinética quando o jovem atingir o nível da água na piscina. Assim, a velocidade máxima é obtida por meio do princípio de conservação de energia:

$E_{PG} = E_{cin.} \Rightarrow m \cdot g \cdot h = m \cdot \frac{v^2}{2} \Rightarrow v_{máx.} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_{máx.} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 4{,}05} \Rightarrow v_{máx.} = 9{,}0$ m/s.

b) Se a jovem chega ao nível da água com velocidade de 4,5 m/s (metade da velocidade máxima do item anterior), significa que houve perda de energia mecânica na descida pelo tobogã, dada pela diferença entre a energia potencial gravitacional no alto do tobogã e a energia cinética ao atingir o nível da água. Assim, temos:

$\text{Perda} = E_{PG} - E_{cin.} \Rightarrow \text{Perda} = m \cdot g \cdot h - m \cdot \frac{v^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow \text{Perda} = 50 \cdot 10 \cdot 4{,}05 - 50 \cdot \frac{(4{,}5)^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow \text{Perda} = 2\,025 - 506{,}25 \Rightarrow \text{Perda} = 1\,518{,}75$ J.

Em relação à energia potencial gravitacional de 2025 J, essa perda corresponde a:

$$\frac{1518{,}75}{2025} \cdot 100\% = 75\%$$

24 No ponto *A*, a esfera está em repouso. Então, sua energia mecânica é igual à sua energia potencial gravitacional. Em relação ao ponto *B*, temos:

$E_{M(A)} = E_{PG(A)} = m \cdot g \cdot h \Rightarrow E_{M(A)} = 4{,}0 \cdot 10 \cdot 8{,}0 \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{M(A)} = 320$ J

Ao passar pelo ponto *B* (que corresponde a $h = 0$) com velocidade de 10 m/s, a energia mecânica da esfera é igual à sua energia cinética e vale:

$E_{M(B)} = E_{C(B)} = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow E_{M(B)} = \frac{4{,}0 \cdot 10^2}{2} \Rightarrow E_{M(B)} = 200$ J

Portanto, entre os pontos *A* e *B*, a perda de energia foi de:

Perda $= E_{M(A)} - E_{M(B)} \Rightarrow$ Perda $= 320 - 200 \Rightarrow$

$\Rightarrow$ Perda $= 120$ J

Retomando

25 Adotando o solo como referencial, temos:

- Etapa 1 – o atleta possui somente energia cinética;
- Etapa 2 – o atleta preparar-se para iniciar o salto, ou seja, transformar sua energia cinética em energia potencial gravitacional;
- Etapa 3 – o atleta possui praticamente só energia potencial gravitacional (a energia cinética é desprezível);
- Etapa 4 – desprezando a espessura do colchão, tanto a energia cinética como a energia potencial gravitacional do atleta é nula.

Nessas condições, para que o atleta atinja a maior altura possível no salto, é preciso que toda a energia cinética inicial (Etapa 1) seja convertida em energia potencial gravitacional no ponto mais alto do salto (Etapa 3).

Resposta: alternativa **c**.

26 No ponto *C*: $E_p = m \cdot g \cdot h = 100 \cdot 10 \cdot 4 = 4000$ J

$E_{M(A)} = E_{M(B)} = E_{M(C)} = E_{M(I)} \Rightarrow 5000 + 800 = E_{P(C)} + E_{C(C)} \Rightarrow$

$\Rightarrow E_{C(C)} = 5800 - 4000 \Rightarrow E_{C(C)} = 1800$ J

$E_C = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow 1800 = \frac{100 \cdot v^2}{2} \Rightarrow v = 6$ m/s.

Resposta: alternativa **d**.

27 a) Sim. *A* e *C* possuem mesma energia potencial, então, na rampa ideal, ele chega ao ponto *C*.

b) Como parte do repouso ($v_a = 0$):

$E_{pA} = E_{cB} \Rightarrow m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v_B^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow 60 \cdot 10 \cdot 5 = \frac{60 \cdot v_B^2}{2} \Rightarrow \frac{6000}{60} = v_B^2 \Rightarrow v_B = 10$ m/s

c) $E_{P(A)} = E_P + E_C \Rightarrow m \cdot g \cdot h_A - m \cdot g \cdot h = E_C \Rightarrow$

$\Rightarrow E_C = m \cdot g \cdot (h_A - h) \Rightarrow E_C = 60 \cdot 10 \cdot (5 - 1) \Rightarrow$

$\Rightarrow E_C = 2400$ J

28 a) De acordo com o enunciado, o sistema é conservativo. Adotando-se o ponto *B* como referencial, temos que a energia mecânica em *B* (energia cinética) é igual à energia mecânica em *C* (cinética + potencial gravitacional), ou seja:

$\frac{m \cdot v_B^2}{2} = m \cdot g \cdot \Delta h_c + \frac{m \cdot v_C^2}{2} \Rightarrow v_B^2 = 2 \cdot g \cdot \Delta h_c + v_C^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow \left(10 \cdot \sqrt{2}\right)^2 = 2 \cdot 10 \cdot (30 - 22) + v_C^2 \Rightarrow 200 = 160 + v_C^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow v_C = \sqrt{40} \Rightarrow v_C = 6{,}3$ m/s.

A velocidade do esquiador no ponto *C* é 6,3 m/s.

b) Para que o esquiador não perca contato com a pista no ponto *C*, a força peso deve fazer o papel de resultante centrípeta. Nessas condições, a força de contato entre o esquiador e a pista é nula, a velocidade é mínima e dada por:

$P = R_C \Rightarrow m \cdot g = m \frac{v_C^2}{r} \Rightarrow v_C = \sqrt{r \cdot g} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_C = \sqrt{10 \cdot 10} \Rightarrow v_C = 10$ m/s.

A maior altura h_A é obtida aplicando-se o princípio de conservação de energia mecânica entre os pontos *A* e *C*. Assim, temos:

$m \cdot g \cdot h_A = m \cdot g \cdot h_C + \frac{m \cdot v_C^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow 10 \cdot h_A = 10 \cdot 30 + \frac{(10)^2}{2} \Rightarrow h_A = 35$ m

29 a) O diagrama de forças que agem no pacote deve conter as seguintes as forças:

- Peso (*P*) – vertical para baixo;
- Contato (*C*) – Esta força possui dois componentes, um perpendicular ao plano inclinado e para cima denominado força normal (*N*) e outro, paralelo à rampa e para baixo denominado força de atrito (F_a);
- Força *F* aplicada pelo entregador – paralela à rampa e orientada para cima.

Como o pacote sobe o plano inclinado com velocidade constante, temos:

$F = P \cdot \text{sen } 20° + F_a \Rightarrow$

$\Rightarrow P = m \cdot g \cdot \text{sen } 20° + \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos 20° \Rightarrow$

$\Rightarrow F = 40 \cdot 10 \cdot (0{,}34 + 0{,}20 \cdot 0{,}94) \Rightarrow F = 211$ N

Portanto, o trabalho realizado pela força *F* vale:

$\tau = F \cdot d \cdot \cos 0° = 211 \cdot 3 \cdot 1 \Rightarrow \tau = 633$ J

b) A variação de energia potencial gravitacional do pacote desde o solo até atingir a carroceria do veículo é dada por:

$\Delta E_{PG} = m \cdot g \cdot \Delta h = m \cdot g \cdot c_{rampa} \cdot \text{sen } 20° \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta E_{PG} = 40 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 0{,}34 \Rightarrow \Delta E_{PG} = 408$ J.

30 A energia solar por unidade de tempo é a potência que é dada pelo produto da insolação *I* pela área *A*. Assim, sendo a insolação igual a 1000 W/m² e a área de 9,0 m², a potência vale:

$P = I \cdot A = 1000 \cdot 9{,}0 \Rightarrow P = 9000$ W

Sendo o rendimento igual a 30% (0,30), a potência útil vale:

$P_{útil} = 0{,}3 \cdot 9000 \Rightarrow P_{útil} = 2700$ W

De acordo com o teorema da energia cinética e lembrando que a velocidade inicial é nula (o carro parte do repouso), o trabalho realizado é dado por:

$\tau = \Delta E_c = E_{c(\text{final})} \Rightarrow \tau = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{200 \cdot \left(\frac{108}{3{,}6}\right)^2}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau = 90000$ J.

Finalmente, o intervalo de tempo necessário para atingir a velocidade pedida é:

$$\Delta t = \frac{\tau}{P} = \frac{90\,000}{2700} \Rightarrow \Delta t = 33 \text{ s}.$$

Resposta: alternativa **d**.

CAPÍTULO 8 – Quantidade de movimento

Na abertura desse capítulo, apresentamos uma história em quadrinhos baseada no filme estadunidense *Armageddon*. Sugerimos que você programe com seus alunos, como atividade extra, uma "sessão de cinema". Caso isso seja possível, é interessante que você já tenha assistido ao filme para salientar os pontos nos quais os alunos devem ter atenção especial. Afinal, no filme, a solução encontrada pela Nasa tem respaldo na Física ou se trata de uma ficção?

Sugerimos que os alunos respondam à questão após assistir ao filme e retornem a ela no final do capítulo.

Neste capítulo, procuramos desenvolver os conceitos físicos para que os alunos adquiram competência e habilidades para:

- compreender e emitir juízos próprios sobre notícias com temas relativos à ciência e à tecnologia, veiculadas por diferentes mídias, de forma analítica e crítica, posicionando-se com argumentação clara;
- diante de uma situação ou problema concreto, reconhecer a natureza dos fenômenos envolvidos, situando-os dentro do conjunto de fenômenos da Física e identificar as grandezas relevantes em cada caso;
- reconhecer a existência de invariantes que impõem condições sobre o que é possível ou não acontecer em processos naturais, para fazer uso dessas invariantes na análise de situações cotidianas;
- utilizar a conservação da quantidade de movimento para prever, por exemplo, possíveis resultados do choque entre dois carros, a trajetória de uma bola após bater em uma parede, o equilíbrio de motos e bicicletas.

Como ponto de partida, sugerimos que você faça um levantamento das dúvidas e das concepções espontâneas dos alunos a respeito dos temas que serão tratados. A seguir, apresentamos algumas questões que podem auxiliá-lo nessa tarefa:

- Quem possui maior quantidade de movimento: um carro a 120 km/h ou um caminhão a 80 km/h?
- Se uma bola bate em uma parede e volta com a mesma velocidade, houve variação do vetor velocidade?
- Por que, numa explosão, os fragmentos não se movimentam todos na mesma direção e sentido?
- Em um salto ornamental em uma piscina, como o atleta consegue girar o corpo sobre si mesmo várias vezes antes de atingir a água?

Peça aos alunos que anotem suas respostas no caderno e as reescrevam, se for necessário, ao final do capítulo.

1. Quantidade de movimento linear

Sempre que possível, devemos recorrer à história da ciência. Nesse sentido, o texto do físico Yoav Ben-Dov, que se encontra na página 43 do livro *Convite à Física*, publicado por Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, em 1996, ilustra a parte histórica e as visões de Descartes e Leibniz a respeito do assunto.

Esse texto encontra-se na seção **Física tem História**, abertura deste tópico. Com ele buscamos a compreensão do aluno em relação ao conhecimento científico como resultado de uma construção humana, inserido em um processo histórico.

Para refletir

O termo "força-viva" significa a energia cinética, e o termo "força-morta", a energia potencial gravitacional.

Como a quantidade de movimento linear, também conhecida como momento linear, é um dos conceitos mais importantes na Física e exige um tratamento vetorial, julgamos necessária uma revisão sobre subtração vetorial e a resolução comentada do Exercício resolvido 1.

2. Impulso de uma força

Após os comentários sobre o impulso de uma força, questione os alunos sobre as relações entre quantidade de movimento e impulso. Em seguida, sugerimos a demonstração, passo a passo, do impulso que relaciona as duas grandezas vetoriais citadas.

Um ponto interessante para discussão é sobre os modos de se aplicar um impulso em um corpo. É comum, no cotidiano, associarmos o impulso a um empurrão, uma pancada rápida, ou seja, uma força de intensidade relativamente alta que ocorre em um intervalo de tempo muito pequeno. Mas o mesmo impulso pode ser obtido com uma força de intensidade mais baixa, desde que o intervalo de tempo seja relativamente mais longo.

Sugerimos que você utilize o exemplo do artista de circo que se exibe em um trapézio, como no livro. Em termos científicos, qual a função da rede de proteção? Solicite a participação dos alunos antes dos comentários.

Trabalho em equipe

Neste trabalho extraclasse e em equipe, além de identificar fenômenos em dado domínio do conhecimento científico e estabelecer relações entre as grandezas envolvidas, os alunos terão oportunidade de desenvolver habilidades na elaboração de comunicações orais e escritas para relatar, analisar e sistematizar fenômenos físicos.

3. Sistemas isolados

Embora pareça relativamente simples, o entendimento dos sistemas isolados requer uma discussão detalhada sobre forças internas e forças externas. Sugerimos apresentar o exemplo do livro, passo a passo, detalhando cada situação para que os alunos percebam que a escolha dos componentes do sistema é um fator determinante para que ele seja, ou não, isolado de forças externas.

Se você julgar conveniente, poderá aprofundar o assunto sobre o movimento de um foguete. Para isso, o texto seguinte poderá ser útil.

Quando um foguete se movimenta, não podemos esquecer que, devido à expulsão de combustível, a massa do foguete vai diminuindo. Assim, para entender como aumenta a velocidade do foguete, vamos considerar que:

- m_0 seja a massa total original do foguete, incluindo tudo o que se encontra a bordo;
- Δm seja a massa de gás expelida com velocidade $\vec{v}_e$ em relação ao foguete;
- m seja a massa total do foguete após a expulsão da massa Δm;
- $\Delta\vec{v}$ seja a variação de velocidade sofrida pelo foguete devido à expulsão da massa Δm.

Embora os gases sejam expelidos de uma forma contínua, podemos imaginar que os gases sejam expelidos em pequenas ejeções. Supondo que em cada ejeção seja expelido $\frac{1}{100}$ (um centésimo) da massa m do foguete, assim, em determinado instante, uma massa $\Delta m = \frac{1}{100} \cdot m$ é expelida com velocidade $\vec{v}_e$ em relação ao foguete.

Nessas condições, a variação da quantidade de movimento linear dessa massa é:

$$\Delta \vec{Q}_{\text{gases}} = \Delta m \cdot \vec{v}_e = \frac{1}{100} \cdot m \cdot \vec{v}_e$$

Devido a essa ejeção de gases, o foguete fica com uma massa igual a $\frac{99}{100}$ da massa m que possuía antes da ejeção e sofre uma variação de velocidade $\Delta\vec{v}$. A variação da quantidade de movimento linear do foguete é dada por:

$$\Delta \vec{Q}_{\text{foguete}} = \frac{99}{100} \cdot m \cdot \Delta \vec{v}$$

De acordo com o princípio da conservação da quantidade de movimento, a variação da quantidade de movimento linear da massa de gases ejetados é, em módulo, igual à variação da quantidade de movimento linear do foguete:

$$\Delta Q_{\text{foguete}} = \Delta Q_{\text{gases}}$$

Substituindo pelas expressões anteriores, obtemos:

$$\frac{99}{100} \cdot m \cdot \Delta v = \frac{1}{100} \cdot m \cdot v_e \Rightarrow \Delta v = \frac{1}{99} \cdot v_e$$

A variação de velocidade do foguete é $\frac{1}{99}$ da velocidade com que os gases são ejetados. Dessa expressão, concluímos que, em qualquer uma das ejeções, o foguete sofre a mesma variação de velocidade, ou seja, $\frac{1}{99}$ da velocidade de ejeção dos gases. Se o foguete partir do repouso, com a primeira ejeção sua velocidade passará a ser $\frac{1}{99} \cdot v_e$; após a segunda ejeção, $\frac{2}{99} \cdot v_e$ e assim sucessivamente.

Como aplicação, podemos utilizar o seguinte exemplo numérico:

Considere que um foguete, com massa total de 10 000 kg, parte do repouso e, em cada ejeção, $\frac{1}{10}$ da massa existente é expelida com velocidade v_e de 3 600 m/s, em relação ao foguete.

a) Qual é a velocidade do foguete após a primeira ejeção de gases? E após a terceira ejeção?

b) Qual é a massa total do foguete após a primeira ejeção de gases? E após a segunda ejeção?

Resolução:

a) De acordo com a dedução, se em cada ejeção $\frac{1}{10}$ da massa do foguete é expelida, podemos dizer que a variação de velocidade do foguete é dada por $\Delta v = \frac{1}{9} \cdot v_e$. Assim, após a primeira ejeção, a velocidade do foguete é:

$$v_1 = \frac{1}{9} \cdot 3\,600 \Rightarrow v_1 = 400 \text{ m/s}$$

E, após a terceira ejeção:

$$v_3 = \frac{3}{9} = 3\,600 \Rightarrow v_3 = 1200 \text{ m/s}$$

b) Sendo a massa inicial (m_0) do foguete igual 10 000 kg e, em cada ejeção, $\frac{1}{10}$ da massa é expelida, a massa do foguete após a primeira ejeção é:

$$m_1 = m_0 - \frac{1}{10} \cdot m_0 \Rightarrow m_1 = 10\,000 - \frac{1}{10} \cdot 10\,000 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow m_1 = 9\,000 \text{ kg}$$

E, após a segunda ejeção:

$$m_2 = m_1 = \frac{1}{10} \cdot m_1 \Rightarrow m_2 = 9\,000 - \frac{1}{10} \cdot 9\,000 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow m_2 = 8\,100 \text{ kg}$$

4. Centro de massa

Física explica

Como ponto de partida deste tópico, solicite aos alunos a leitura do texto que comenta o salto em altura, modalidade esportiva presente nos Jogos Olímpicos.

Após os comentários sobre os dois exemplos citados no livro-texto, coloque a seguinte questão para discussão: na análise do movimento de um sistema de partículas, qual a vantagem de se usar o centro de massa do sistema no lugar de qualquer outro ponto?

1. O movimento do centro de massa de um sistema de partículas é independente de qualquer evento interno que possa ocorrer com o sistema.
2. A quantidade de movimento linear do centro de massa de um sistema é a quantidade de movimento linear total do sistema.

5. Colisões

O ponto fundamental nos choques e nas colisões é a conservação da quantidade de movimento linear do **sistema de corpos** e não de um corpo em particular.

Sugerimos uma pesquisa sobre os mecanismos de defesa das principais potências mundiais para evitar uma catástrofe semelhante à que ocorreu na época dos dinossauros.

Física explica

Com os dois textos – "Aceleradores de partículas" e "Amortecendo as colisões" – procuramos desenvolver nos alunos competências para reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social.

Em relação à questão proposta no texto sobre amortecimento das colisões, devemos ressaltar o papel da Física nos objetivos da indústria automobilística, destacando dois pontos básicos. O primeiro relacionado ao teorema da energia cinética (o trabalho da força resultante é igual à variação de energia cinética), e o segundo, à definição de trabalho (força × deslocamento). Assim, para uma mesma variação de energia cinética, quanto menor o deslocamento, maior a intensidade da força.

Sobre as colisões, sugerimos um artigo interessante que você poderá usar como uma atividade prática, além da indicada na seção **Experimento**. Esse artigo encontra-se na revista *Física na Escola*, v. 6, n. 2, 2005, com o título, "Colisão Elástica: um exemplo didático e lúdico". Segundo os autores, C. Chesman, C. Salvador e E. S. de Souza, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, e A. Albino Jr., do Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte:

> A Física, por ser uma ciência, tem necessidade de comprovar suas teorias ou modelos através da análise experimental. O objetivo deste trabalho é estudar comparativamente a teoria e a prática de um sistema mecânico. Experimento consiste em estudar colisões de bolas semelhantes às de bilhar em um aparato cujo funcionamento é o mesmo de um pêndulo físico (formado por um cordão e uma bola de bilhar). Outra bola de bilhar e uma cesta também fazem parte do modelo. Neste experimento, a posição de queda da segunda bola pode ser previamente determinada usando-se as leis da conservação do momento linear e da energia mecânica [...].
>
> [...] Os resultados demonstram a excelente concordância entre o modelo teórico e os dados experimentais. A vantagem desse experimento moldado pela mecânica clássica é a sua facilidade de operação, pois não necessita de cronômetro, e

resulta em uma excelente atividade didática e em interessante atividade lúdica que pode ser facilmente usada como atrativo em demonstrações científicas.

6. Inércia rotacional

Na abertura deste tópico, apresentamos um texto que, além de nos conduzir a uma reflexão sobre os movimentos de uma bailarina e introduzir as grandezas relacionadas ao movimento rotacional, nos permite compreender a ciência e a tecnologia como partes da cultura humana contemporânea.

Sugerimos que você faça a distinção entre um movimento de translação e um movimento de rotação para introduzir os conceitos de inércia rotacional e torque. Se necessário, retome alguns pontos do Capítulo 5 sobre as leis de Newton e sobre os conceitos de inércia e força resultante.

Para refletir

Para o equilíbrio rotacional de uma alavanca é necessário que a soma dos momentos das forças que agem sobre ela seja igual a zero.

7. Momento angular e sua conservação

Basicamente, neste tópico estamos retornando ao início do capítulo. Do mesmo modo como associamos uma quantidade de movimento linear a um corpo em movimento de translação, estamos, agora, associando uma quantidade de movimento angular a um corpo em movimento de rotação.

Portanto, do mesmo modo que falamos em conservação da quantidade de movimento linear de um sistema na ausência de forças externas, podemos falar na conservação da quantidade de movimento angular de um sistema na ausência de torques externos.

Em construção

Neste capítulo, nossa homenagem é para dois grandes personagens da história das ciências, e que têm profunda ligação com o tema discutido: a quantidade de movimento. São eles: o matemático e físico René Descartes (1596-1650), e o filósofo, político, historiador, cientista e matemático alemão Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646-1716).

Sugerimos que você, professor(a), recomende aos alunos a leitura da revista *Gênios da Ciência*, uma publicação da *Scientific American Brasil*, particularmente a que trata de Descartes, com o título *Descartes:* a razão sem fronteiras.

Experimento

Em qualquer um dos dispositivos utilizados para a realização desta atividade experimental, o objetivo é a verificação da conservação da quantidade de movimento de cada esfera e do sistema constituído pelas esferas. Alguns pontos que devem ser observados:

1. Nas colisões, normalmente não se verifica a conservação da quantidade de movimento linear dos corpos, separadamente.
2. Por outro lado, quando consideramos o sistema constituído pelos corpos que colidem, o princípio de conservação da quantidade de movimento linear se verifica.

Atividades complementares

1. (UFG-GO) O jogo de *squash* resume-se basicamente em arremessar com uma raquete a bola contra uma parede e rebatê-la novamente após cada colisão. Se após o saque a bola chocar-se perpendicularmente contra a parede e voltar na mesma direção, o impulso da força exercida pela parede sobre a bola será:

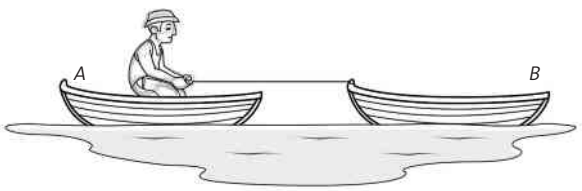
a) igual a zero, pois a energia cinética da bola se conserva quando o choque é perfeitamente elástico.
b) diretamente proporcional à soma dos módulos das velocidades antes e após a colisão com a parede.
c) igual ao produto da massa pela velocidade de retorno da bola.
d) igual à soma vetorial das quantidades de movimento antes e depois do choque com a parede.
e) igual ao impulso da raquete na bola.

Resolução:

A bola choca-se contra a parede com velocidade v_1 e retorna, na mesma direção, com velocidade v_2. Então, a variação da quantidade de movimento linear da bola é, em módulo, $m \cdot (v_1 + v_2)$, ou seja, proporcional à soma dos módulos das velocidades antes e após o choque. Como o impulso é igual à variação da quantidade de movimento linear da bola, é diretamente proporcional à soma dos módulos das velocidades antes e após o choque.

Resposta: alternativa **b**.

2. (UFSC) Na situação apresentada na figura abaixo desconsidere o efeito do atrito. Estando todas as partes em repouso no início, uma pessoa puxa com sua mão uma corda que está amarrada ao outro barco. Considere que o barco vazio (*B*) tenha a metade da massa do barco mais a pessoa que formam o conjunto (*A*).



Dam d'Souza/Arquivo da editora

Assinale a(s) proposição(ões) **correta(s)** e dê como resposta a soma dos números correspondentes.

01. Após a pessoa puxar a corda, ambos os barcos se moverão com a mesma velocidade.
02. Após o puxar da corda, o módulo da velocidade de *B* será o dobro do módulo da velocidade de *A*.
04. É impossível fazer qualquer afirmação sobre as velocidades das partes do sistema ao se iniciar o movimento.
08. Após o puxar da corda, as quantidades de movimento dos barcos apresentarão dependência entre si.
16. Ao se iniciar o movimento, a energia cinética de *A* é sempre igual à energia cinética de *B*.

Resolução:

01. Incorreta. Os dois conjuntos, *A* e *B*, sofrem a mesma variação de quantidade de movimento linear, em módulo. Mas, como eles têm massas diferentes, se moverão com velocidades diferentes.
02. **Correta**. Em módulo $Q_A = Q_B$. Sendo $Q = m \cdot v$ e $m_A = 2m_B$, então: $v_B = 2v_A$.
04. Incorreta. Veja explicações nas afirmativas 01 e 02.
08. **Correta**. A quantidade de movimento do sistema é conservada. Logo, as quantidades de movimento dos barcos são iguais.
16. Incorreta. De acordo com a afirmativa 02, $m_A = 2m_B$ e $v_B = 2v_A$. Assim, a relação entre as energias cinéticas iniciais de *A* e *B* é:

$$E_{C(A)} = \frac{m_A \cdot (v_A)^2}{2} = \frac{2 \cdot m_B \cdot \left(\frac{v_B}{2}\right)^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{C(A)} = \frac{\frac{m_B \cdot (v_B)^2}{2}}{2} = \frac{E_{C(B)}}{2}$$

Portanto, ao se iniciar o movimento, a energia cinética de *A* é igual à metade da energia cinética de *B*.

Resposta: Soma = 10.

3. (UFPA) A fotografia mostrada a seguir expõe o resultado de uma imprudência. Um carro de massa igual a uma tonelada, ao tentar ultrapassar um caminhão, acabou colidindo de frente com outro carro de massa 800 kg, que estava parado no acostamento. Em virtude de a estrada estar *muito lisa*, após a colisão, os carros se moveram juntos em linha reta, com uma velocidade de 54 km/h.



David Burton/Alamy/Glow Images

Admitindo-se que a força que deformou os veículos atuou durante um tempo de 0,1 s, são feitas as seguintes afirmações para a situação descrita:

I. O choque é completamente inelástico e, por isso, não há conservação da quantidade de movimento.

II. A velocidade do carro de uma tonelada antes da colisão era de 97,2 km/h.

III. A intensidade do impulso atuante na colisão foi de $1{,}2 \cdot 10^4$ N · s.

IV. A intensidade da força média que deformou os veículos foi de $1{,}2 \cdot 10^3$ N.

Estão corretas somente:

a) I e II. c) III e IV. e) II, III e IV.

b) II e III. d) I, II e III.

Resolução:

Nesta questão, temos um choque totalmente inelástico entre dois carros: o primeiro, com massa $m_1 = 1000$ kg, em movimento com velocidade v_1, e o segundo, com massa $m_2 = 800$ kg, em repouso ($v_2 = 0$). Após o choque, ambos se movimentam juntos com velocidade $v_f = 54$ km/h (15 m/s).

Analisando cada afirmativa, obtemos:

I. Incorreta. O choque é completamente inelástico, mas há conservação da quantidade de movimento linear do sistema.

II. **Correta**. De acordo com a conservação da quantidade de movimento linear do sistema, obtemos:
$m_1 \cdot v_1 = (m_1 + m_1) \cdot v_f \Rightarrow$
$\Rightarrow 1000 \cdot 54 = (1000 + 800) \cdot v_f \Rightarrow$
$\Rightarrow v_f = 97{,}2$ km/h (27 m/s)

III. **Correta**. Podemos calcular o impulso atuante na colisão pela variação da quantidade de movimento do carro 1 ou do carro 2. Como as velocidades antes e após o choque têm a mesma direção e sentido, temos, em módulo:

Carro 1
$I = \Delta Q = m \cdot (v_1 - v_f) \Rightarrow I = 1000 \cdot (27 - 15) \Rightarrow$
$\Rightarrow I = 12\,000$ N · s $= 1{,}2 \cdot 10^4$ N · s

Carro 2
$I = \Delta Q = m \cdot (v_f - v_2) \Rightarrow I = 800 \cdot (15 - 0) \Rightarrow$
$\Rightarrow I = 12\,000$ N · s $= 1{,}2 \cdot 10^4$ N · s

IV. Incorreta. A intensidade da força média que deformou os veículos vale:
$I = F \cdot \Delta t$
$1{,}2 \cdot 10^4 = F \cdot 0{,}1 \Rightarrow F \cdot 1{,}2 \cdot 10^5$ N

Resposta: alternativa **b**.

4. (UFRN) Em revista de circulação nacional, uma reportagem destacou a reação da natureza às agressões realizadas pelo homem ao meio ambiente. Uma das possíveis consequências citadas na reportagem seria o derretimento das geleiras dos polos, o que provocaria uma elevação no nível do mar. Devido ao movimento de rotação da Terra, esse efeito seria especialmente sentido na região do Equador, causando inundações nas cidades litorâneas que hoje estão ao nível do mar.

Levando em conta apenas esse efeito de redistribuição da água devido ao degelo, podemos afirmar que:

a) o momento de inércia da Terra, em relação ao seu eixo de rotação, aumentará.

b) a velocidade angular da Terra, em relação ao seu eixo de rotação, aumentará.

c) o período de rotação da Terra, duração do dia e da noite, diminuirá.

d) o momento angular da Terra, em relação ao seu centro de massa, diminuirá.

Resolução:

a) **Correta**. Com a redistribuição da água devido ao degelo, teremos uma maior concentração de água na região do Equador. Isso significa dizer que a distância da massa ao eixo de rotação aumentará. Como consequência, teremos um aumento no momento de inércia da Terra, em relação ao eixo de rotação.

b) Incorreta. De acordo com a conservação do momento angular, um aumento no momento de inércia acarretará uma diminuição na velocidade de rotação.

c) Incorreta. Com a diminuição na velocidade de rotação, teremos um aumento no período, pois $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

d) Incorreta. O momento angular da Terra permanece constante.

Resoluções dos exercícios

1 Neste exercício, procuramos explorar o fato de que as grandezas relevantes no movimento são a massa e a velocidade. Embora um caminhão normalmente tenha massa maior do que um carro, isso não significa que obrigatoriamente o estrago provocado por ele na traseira do ônibus seja maior do que o provocado pelo carro na traseira do outro ônibus. Precisamos, também, levar em conta a velocidade de cada móvel, ou seja, precisamos considerar a quantidade de movimento de cada móvel. Então, se o carro provocou um estrago maior do que o caminhão, podemos concluir que sua quantidade de movimento linear era maior, desde que o intervalo de tempo de interação seja o mesmo nos dois casos e que os dois ônibus sejam exatamente iguais.

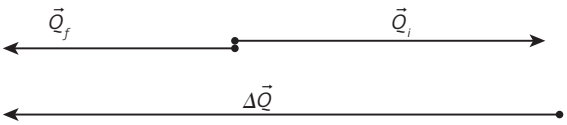
2 Mesmo sem efetuar cálculos, os alunos devem concluir que houve variação na quantidade de movimento linear da bola, pois houve variação na velocidade da bola em módulo e sentido. O módulo da quantidade de movimento linear com que a bola acerta a trave é:

$Q_{inicial} = m \cdot v_i = 0{,}4 \cdot 20 \Rightarrow Q_{inicial} = 8{,}0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

E o módulo da quantidade de movimento linear com que a bola retorna em sentido contrário ao inicial é:

$Q_{final} = m \cdot v_f = 0{,}4 \cdot 15 \Rightarrow Q_{inicial} = 6{,}0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

Sendo $\Delta\vec{Q} = \vec{Q}_{final} - \vec{Q}_{inicial}$, e como os vetores $\vec{Q}_{final}$ e $\vec{Q}_{inicial}$ têm a mesma direção, mas sentidos contrários, conforme mostra a figura seguinte, o módulo do vetor $\Delta\vec{Q}$ é dado por:



$\Delta Q = Q_f + Q_i \Rightarrow \Delta Q = 6{,}4 + 8{,}0 \Rightarrow \Delta Q = 14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

3 a) Desprezando-se a resistência do ar, o sistema é conservativo. Assim, em relação ao solo, a energia potencial gravitacional da pedra no alto do prédio é transformada integralmente em energia cinética no instante em que ela atinge o solo. Portanto:

$m \cdot g \cdot h = E_{c(solo)} \Rightarrow 1{,}0 \cdot 10 \cdot h = 200 \Rightarrow h = 20 \text{ m}$

b) Como a pedra parte do repouso, sua quantidade de movimento no alto do prédio é zero. No instante em que a pedra atinge o solo, sua velocidade vale:

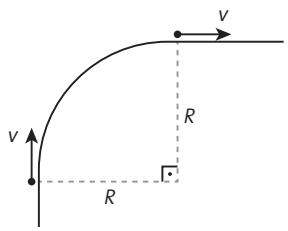
$E_{c(solo)} = 200 \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} = 200 \Rightarrow \frac{1{,}0 \cdot v^2}{2} = 200 \Rightarrow$

$\Rightarrow v = 20 \text{ m/s}$

E, nesse instante, sua quantidade de movimento vale:

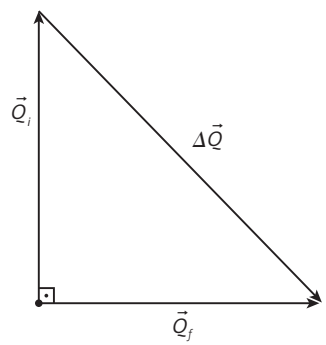
$Q = m \cdot v = 1{,}0 \cdot 20 \Rightarrow Q = 20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

4 Na figura seguinte, temos a representação esquemática do carro na entrada e na saída da curva:



a) De acordo com a figura, as quantidades de movimento linear no início e no final da curva **não são iguais**, pois os vetores velocidades têm direções e sentidos diferentes.

b) Como os vetores velocidades inicial e final são perpendiculares entre si, temos:



O módulo do vetor variação da quantidade de movimento linear é dado por:

$\Delta Q = \sqrt{(Q_i)^2 + (Q_f)^2}$

Como os vetores $\vec{Q}_i$ e $\vec{Q}_f$ têm módulos iguais ($Q_i = Q_f = m \cdot v$), obtemos:

$\Delta Q = \sqrt{(mv)^2 + (mv)^2} = \sqrt{2 \cdot (mv)^2} \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta Q = \sqrt{2} \cdot m \cdot v$

5 a) Vamos admitir que os ovos tivessem a mesma massa. Como eles foram soltos de uma mesma altura, atingem o chão e o tapete com a mesma velocidade, sendo ambos levados ao repouso. Assim, os dois ovos sofrem a mesma variação de velocidade e, consequentemente, a mesma variação na quantidade de movimento linear.

b) No ovo que cai no tapete, a força de resistência age num deslocamento maior. Assim, o intervalo de tempo para reduzir a zero a velocidade do ovo que cai no tapete é **maior** do que o intervalo de tempo do ovo que cai no chão. Nessas condições, a intensidade da força que o tapete exerce no ovo é **menor** que a intensidade da força que o chão exerce no outro ovo. Isso justifica o fato de um deles quebrar (o ovo que cai no chão) e o outro não.

6 Inicialmente, vamos calcular a velocidade com que a jovem atinge a cama elástica. Trata-se de um lançamento horizontal no qual o tempo de queda vale:

$t_q = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}8}{10}} \Rightarrow t_q = 0{,}6 \text{ s}$

e a velocidade da jovem ao atingir a cama elástica vale:

$v = v_0 + g \cdot t \Rightarrow v = 0 + 10 \cdot 0{,}6 \Rightarrow v = 6 \text{ m/s}$

Durante a interação da jovem com a cama elástica, de acordo com o teorema do impulso, o módulo da força resultante é de:

$F_R \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v \Rightarrow F_R \cdot 0{,}4 = 50 \cdot (0 - 6) \Rightarrow F_R = 750 \text{ N}$

Como a força resultante é igual à diferença entre a força média da cama elástica e a força peso da jovem, temos:

$F_R = F_{e_{méd.}} - P \Rightarrow 750 = F_{e_{méd.}} - 50 \cdot 10 \Rightarrow F_{e_{méd.}} = 1250 \text{ N}$

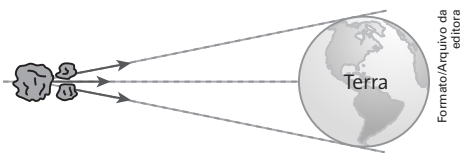
7 Analisando as afirmativas, temos:

I. **Correta**. Os motoristas (robôs) têm a mesma massa e a mesma velocidade inicial. Então, até a imobilização total, os dois sofrem a mesma variação de velocidade e a mesma variação na quantidade de movimento linear.

II. **Correta**. Como o impulso é igual à variação da quantidade de movimento linear, tem o mesmo módulo nos dois casos.

III. Incorreta. A intensidade da força média exercida sobre o motorista com *airbag* é menor, pois o intervalo de tempo é maior.

8 Temos aqui um sistema isolado de forças externas. Isso significa dizer: a quantidade de movimento linear total do sistema se conserva.

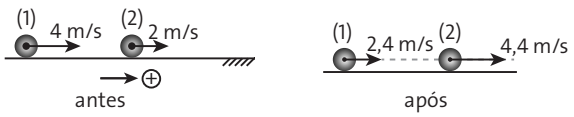


Formato/Arquivo da editora

Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

Antes da explosão, a quantidade de movimento linear total do sistema era horizontal e para a direita. Assim, após a explosão, as duas partes se movimentam de tal forma a conservar a quantidade de movimento linear total do sistema.

9 Para verificar se houve ou não conservação da quantidade de movimento linear, devemos calcular a quantidade de movimento linear antes e após o choque. Para isso, vamos considerar a figura:



a) Para cada uma das bolas, separadamente, temos:

Bola 1: $Q_{antes} = m_1 \cdot v_1 = 6{,}0 \cdot 4{,}0 \Rightarrow Q_{antes} = 24\ kg \cdot m/s$
$Q_{após} = m_1 \cdot v'_1 = 6{,}0 \cdot 2{,}4 \Rightarrow Q_{após} = 14{,}4\ kg \cdot m/s$
Bola 2: $Q_{antes} = m_2 \cdot v_2 = 4{,}0 \cdot 2{,}0 \Rightarrow Q_{antes} = 8{,}0\ kg \cdot m/s$
$Q_{após} = m_2 \cdot v'_2 = 4{,}0 \cdot 4{,}4 \Rightarrow Q_{após} = 17{,}6\ kg \cdot m/s$

Portanto, não houve conservação da quantidade de movimento linear de nenhuma das bolas.

b) A quantidade de movimento linear total do sistema antes do choque é:

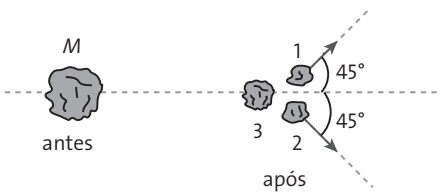
$Q_{antes} = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 \Rightarrow$
$\Rightarrow Q_{antes} = 6{,}0 \cdot 4{,}0 + 4{,}0 \cdot 2{,}0 \Rightarrow Q_{antes} = 32\ kg \cdot m/s$

E, após o choque:

$Q_{após} = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2 \Rightarrow$
$\Rightarrow Q_{após} = 6{,}0 \cdot 2{,}4 + 4{,}0 \cdot 4{,}4 \Rightarrow Q_{após} = 32\ kg \cdot m/s$

Como os resultados obtidos são iguais, houve conservação da quantidade de movimento linear total do sistema nesse choque.

10 Antes da explosão, a rocha estava em repouso. Portanto, a quantidade de movimento linear do sistema antes da explosão é zero. Como o sistema é isolado de forças externas, a quantidade de movimento linear total do sistema se conserva. Portanto, após a explosão, a quantidade de movimento linear do sistema também deve ser igual a zero.



De acordo com a figura dada, após a explosão, a soma vetorial das quantidades de movimento linear das partes 1 e 2 é horizontal e para a direita. Então, para que a soma vetorial das quantidades de movimento das três partes seja zero, a parte 3 deve se movimentar obrigatoriamente na horizontal e para a esquerda.

Resposta: alternativa **c**.

11 a) Desprezando-se os atritos, o sistema canoa-pessoa é isolado de forças externas. Portanto, se a pessoa se afasta da margem, a canoa se movimenta aproximando-se da margem.

b) O centro de massa do sistema permanece fixo em relação à margem, pois o sistema é isolado.

12 a) É possível o patinador entrar em movimento. Basta ele atirar a bola em uma dada direção e sentido que, de acordo com a conservação da quantidade de movimento linear total do sistema, ele entrará em movimento no sentido contrário ao do movimento da bola.

b) O sistema é isolado; então, a velocidade do centro de massa permanece constante. Como ela era igual a zero antes de o patinador atirar a bola, continuará sendo igual a zero após o patinador atirar a bola, ou seja, o centro de massa permanece parado.

c) O patinador atira a bola de massa 0,7 kg com velocidade de 10 m/s para frente. Então, ele, com massa de 70 kg, movimenta-se para trás com velocidade, em relação ao solo, de:

$Q_{bola} - Q_{patinador} = 0 \Rightarrow 0{,}7 \cdot 10 - 70 \cdot v_{patinador} = 0 \Rightarrow$
$\Rightarrow v_{patinador} = 0{,}1\ m/s$

13 Em virtude de o sistema ser isolado, a velocidade do centro de massa é a mesma antes e após a fragmentação. De acordo com a figura (sem escala), a velocidade do centro de massa é dada por:

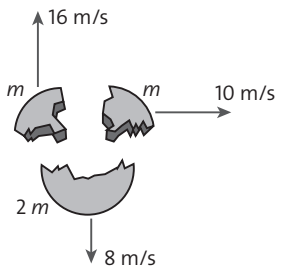
$$\vec{v}_{CM} = \frac{\sum m \cdot \vec{v}}{\sum m}$$

Na horizontal, temos:

$$v_{CM\ (horiz.)} = \frac{m \cdot 10}{m + m + 2m} \Rightarrow v_{CM\ (horiz.)} = 2{,}5\ m/s$$

E, na vertical:

$$v_{CM\ (vert.)} = \frac{m \cdot 16 - 2m \cdot 8}{m + m + 2m} \Rightarrow v_{CM\ (vert.)} = 0$$



14 a) Em relação ao barco de trás, temos: $m_1 = 3\,200$ kg; $x_1 = 0$ e $m_2 = 2\,500$ kg; $x_2 = 200$ m. Portanto, o centro de massa do sistema formado pelos dois barcos, medida em relação ao barco de trás, vale:

$$x_{CM} = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2}{m_1 + m_2} = \frac{3\,200 \cdot 0 + 2\,500 \cdot 200}{3\,200 + 2\,500} \Rightarrow$$
$\Rightarrow x_{CM} = 87{,}7$ m

b) O módulo da velocidade do centro de massa é dado por:

$$v_{CM} = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} = \frac{3\,200 \cdot 50 + 2\,500 \cdot 60}{3\,200 + 2\,500} \Rightarrow$$
$\Rightarrow v_{CM} = 54{,}4$ km/h

c) A quantidade de movimento do sistema é dado por:

$$Q_{sist.} = m_T \cdot v_{CM} \Rightarrow Q_{sist.} = (3\,200 + 2\,500) \cdot \frac{54{,}4}{3{,}6} \Rightarrow$$
$\Rightarrow Q_{sist.} = 8{,}6 \cdot 10^4\ kg \cdot m/s$

15 De acordo com a conservação da quantidade de movimento linear do sistema, temos:

$\vec{Q}_{antes} = \vec{Q}_{após}$

Como o choque ocorre em uma única direção, podemos escrever:

$m_c \cdot v_{c(i)} + m_a \cdot v_{a(i)} = m_c \cdot v_{c(f)} + m_a \cdot v_{a(f)} \Rightarrow$
$\Rightarrow 2\,200 \cdot 40 + 1200 \cdot 20 = 2\,200 \cdot 30 + 1200 \cdot v_{c(f)} \Rightarrow$
$\Rightarrow 88\,000 + 24\,000 = 66\,000 + 12\,001200 \cdot v_{c(f)} \Rightarrow$
$\Rightarrow v_{c(f)} = 38{,}3$ km/h

Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

16 a) Trata-se de um choque entre dois vagões de massas iguais. Nesse caso, aplicamos a lei da conservação da quantidade de movimento linear do sistema para calcular a velocidade do conjunto após a colisão.

b) De acordo com o item **a**, temos:

$\sum \vec{Q}_{antes} = \sum \vec{Q}_{após} \Rightarrow m \cdot v = 2 \cdot m \cdot v_{conj.} \Rightarrow v_{conj.} = \frac{v}{2}$

A velocidade do conjunto (dois vagões de massa m cada um) é a metade da velocidade v (velocidade do vagão que estava em movimento antes do choque).

17 a) No eixo x, temos:

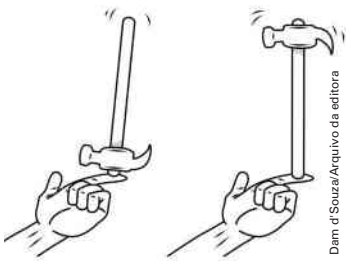
$Q_{antes} = Q_{após} \Rightarrow$

$\Rightarrow m_1 \cdot v_{1(i)} = m \cdot v_{1(f)} \cdot \cos 30° + m \cdot v_{2(f)} \cdot \cos 60° \Rightarrow$

$\Rightarrow 0{,}87 \cdot v_{1(f)} + 5 \cdot 0{,}50 \Rightarrow v_{1(f)} = 8{,}6$ m/s

b) Como as bolas possuem massas iguais e os ângulos α e β são complementares ($\alpha + \beta = 90°$), o choque é **elástico**.

18 a) Com base nas figuras mostradas a seguir, a inércia rotacional do martelo é maior no segundo caso, ou seja, com o cabo do martelo apoiado no dedo e a cabeça do martelo no alto. A explicação é simples: temos uma maior distribuição de massa mais longe do eixo de rotação.



Dam d'Souza/Arquivo da editora

b) É mais fácil equilibrar o martelo no segundo caso, que apresenta uma maior inércia rotacional. Quanto maior a inércia rotacional, maior a resistência à mudança no movimento.

19 Para abrir uma porta, produzimos, por meio de uma força, um movimento de rotação nela em torno da dobradiça. O ponto de aplicação da força é na maçaneta da porta. Quanto mais longe a maçaneta estiver da dobradiça, maior o torque produzido na porta e, portanto, maior o movimento de rotação produzido. Se a maçaneta fosse colocada bem próxima da dobradiça, dificilmente conseguiríamos abrir a porta, ou seja, fazê-la rodar em torno do eixo que passa pela dobradiça.

20 a) Vamos determinar o centro de massa do sistema constituído pelos cinco garotos:

$x_{CM} = \frac{m_1 \cdot x_1 + \quad + m_5 \cdot x_5}{m_1 + \quad + m_5} =$

$\frac{25 \cdot 140 + 30 \cdot 100 + 50 \cdot 60 - 40 \cdot 60 - 30 \cdot 140}{25 + 30 + 50 + 40 + 30} \Rightarrow$

$x_{CM} = 16{,}6$ cm

Para que a gangorra esteja em equilíbrio na horizontal, o centro de massa do sistema deveria ser igual a zero, ou seja, exatamente sobre o suporte onde a barra está apoiada. Portanto, a gangorra não está em equilíbrio na horizontal.

b) Sim, é possível. Neste caso, devemos ter: $x_{CM} = 0$. Portanto:

$x_{CM} = \frac{m_1 \cdot x_1 + \quad + m_5 \cdot x_5}{m_1 + \quad + m_5} \Rightarrow$

$\Rightarrow 0 = \frac{25 \cdot 140 + 30 \cdot 100 + 50 \cdot 60 - 40 \cdot x - 30 \cdot 140}{25 + 30 + 50 + 40 + 30} \Rightarrow$

$0 = \frac{5300 - 40 \cdot x}{175} \Rightarrow 40 \cdot x = 5300 \Rightarrow x = 132{,}5$ cm

O garoto de 40 kg deve se posicionar na posição igual a 132,5 cm, à direita do apoio.

21 a) O momento de inércia é maior na posição **a**, pois o homem está com os braços abertos e os halteres estão mais longe do eixo de rotação.

b) A velocidade angular é maior na posição **b** na qual o homem está com os halteres encostados em seu corpo. Neste caso, o momento de inércia é menor e, devido à conservação do momento angular, a velocidade angular é maior do que na posição **a**.

22 Aproximando as pernas e os braços do tronco, o atleta diminui seu momento de inércia e, em virtude da conservação do momento angular, ele aumenta a velocidade angular.

23 De acordo com a figura dada no livro, quando o menino fica em pé no balanço, seu centro de massa fica mais próximo do eixo de rotação. Isso significa uma diminuição no momento de inércia e, consequentemente, um aumento na velocidade angular, devido à conservação do momento angular.

Retomando

24 Sendo a colisão elástica, devemos ter conservação da quantidade de movimento do sistema e também da energia cinética. Nessas condições, a única alternativa que satisfaz é a **c**, desde que a velocidade das três esferas imediatamente após o choque seja igual à velocidade das três esferas imediatamente antes do choque.

Resposta: alternativa **c**.

25 No espaço sideral, o foguete movimenta-se de acordo com o princípio da conservação da quantidade de movimento linear. Expelindo gases em uma dada direção e sentido, ele movimenta-se em sentido contrário. Como a força de propulsão é constante e a massa do foguete diminui, devido à expulsão de gases, a aceleração do foguete aumenta.

26 Em uma colisão perfeitamente inelástica, os corpos se unem e tanto podem se movimentar como permanecer em repouso. Se a quantidade de movimento do sistema antes do choque for zero, os corpos permanecem parados após o choque. Se a quantidade de movimento do sistema antes do choque for diferente de zero, os corpos se movimentam após o choque. Assim, temos:

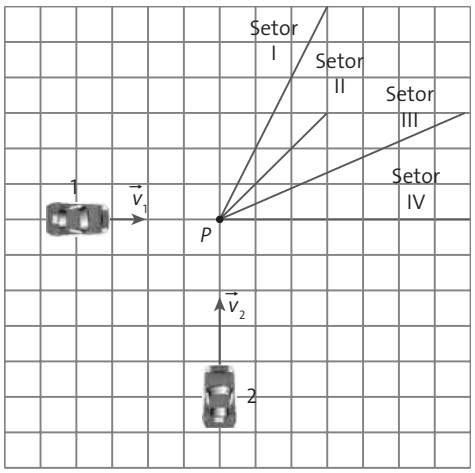
a) a energia cinética final do sistema após o choque pode ser zero, mas a energia cinética final do sistema antes do choque deve ser diferente de zero, pois energia cinética é uma grandeza escalar e pelo menos um dos corpos deve estar em movimento.

b) Como a quantidade de movimento é uma grandeza vetorial, a quantidade de movimento total do sistema antes e após o choque pode ser zero.

27 Se o ângulo do plano de subida for reduzido a zero, temos um plano horizontal e, nessas condições, a esfera manterá sua velocidade constante, pois não haverá impulso resultante sobre ela ($I_R = 0$). De acordo com o teorema do impulso, a quantidade de movimento da esfera se conserva.

Resposta: alternativa **a**.

28 A figura seguinte é uma representação esquemática do choque entre os carros.



Os carros têm massas iguais. Assim, se as velocidades forem iguais, as quantidades de movimento lineares antes do choque terão módulos iguais e, na composição, o vetor resultante terá a direção da linha que separa os setores II e III. Mas como a velocidade do carro 2 é ligeiramente maior que a do carro 1, o módulo da quantidade de movimento linear do carro 2, antes do choque, é ligeiramente maior do que o módulo da quantidade de movimento linear do carro 1. Assim, a composição dos vetores nos dá uma resultante no setor II.

CAPÍTULO 9 – O Sistema Solar e a Terra

Este é um capítulo em que a importância histórica da Física aparece claramente e que mostra os procedimentos de busca da verdade científica, expressa por leis físicas, como um agente transformador da sociedade.

1. Modelos planetários

O trabalho inicial pode ser conduzido convidando os alunos a ler o texto **Física tem História** e a refletir sobre a frase: "A fé é de foro íntimo, portanto, de cada um. As diversas religiões devem ser respeitadas, cada uma com seus dogmas. A ciência não deve ser vista como alternativa à religião, mas como outra forma de conhecimento".

Nessa linha, os estudantes podem responder e discutir sobre as perguntas do **Para refletir**, reforçando o entendimento de como o método científico moderno emergiu da vontade do homem entender o Universo e suas origens. Podemos iniciar uma caminhada rica em descobertas oferecida pelo assunto aqui discutido.

A seguir, as respostas para as questões propostas para esta seção:

1. No modelo geocêntrico, a Terra ocupa o centro do Universo e todos os outros astros (planetas e estrelas) giram ao redor dela. No modelo heliocêntrico, o Sol ocupa o centro do sistema planetário e os planetas, incluindo a Terra, giram ao redor dele.
2. Todo movimento é relativo. Assim, para nós, que nos movimentamos com a Terra, não é possível perceber seu movimento. Portanto, o que vemos diariamente é o Sol em movimento ao redor da Terra.

Do ponto de vista expositivo, você pode começar por destacar que o problema do entendimento dos sistemas planetários não era cinemático, mas sim dinâmico. Como obter uma relação de causa e efeito relacionando as órbitas e as interações entre os corpos celestes?

Os modelos são apresentados no texto, a partir de Ptolomeu, e acreditamos ser importante destacar a "invasão" que faz a Matemática, de aceitação Universal, na descrição do movimento dos astros.

2. As leis de Kepler

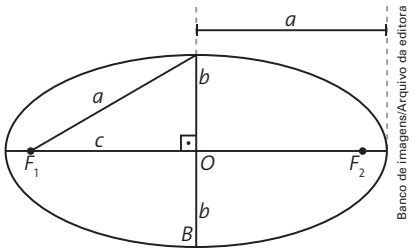
Acreditamos ser motivador discutir com o aluno as condições tecnológicas para executar medidas astronômicas na época de Kepler e mostrar que ele conseguiu descrever o movimento dos planetas de maneira bastante geral e precisa, com três leis relativamente simples, resultantes de paciente trabalho de interpretação dos dados.

Talvez esse seja um momento de reflexão e de desenvolvimento das habilidades e das competências analíticas do aluno e propício para o entendimento de que o trabalho científico bem-feito requer perseverança e vontade de desvendar e entender fatos da natureza.

Como a primeira lei de Kepler trata de trajetórias elípticas e como esse tipo de curva, em geral, é novidade para os estudantes desse nível, sugerimos a apresentação de sua construção pelo método do jardineiro. Complementarmente, pode ser interessante trabalhar com os alunos o processo para, dada a elipse com seus dois eixos, determinar seus focos.

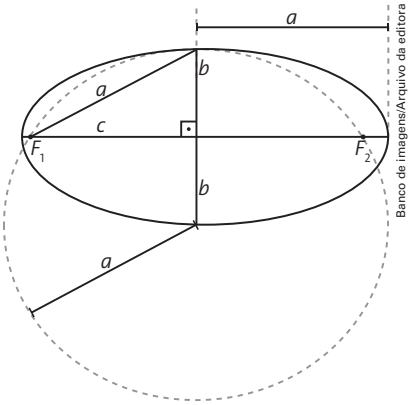
A elipse

No Livro do Aluno não entramos em detalhes sobre a elipse, como a determinação dos focos, por exemplo, mas o fazemos aqui.



Elementos da elipse

Como a distância entre qualquer um dos focos e o ponto *B*, extremo inferior do semieixo menor é *a*, se você já tiver a elipse com seus dois eixos e quiser determinar os focos, basta centrar o compasso em *B* e traçar uma circunferência de raio *a*. Os pontos do eixo maior interceptados pela circunferência são os focos, conforme ilustra a figura seguinte. O extremo superior também pode ser usado da mesma forma, com o mesmo resultado.



Obtendo os focos de uma elipse conhecida.

Nesse caso particular $a = 2b$ e $e = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}87$.

A passagem da Astronomia a olho nu para a Astronomia com instrumentos pode ser discutida neste momento e, para tanto, apresentamos a seguir fatos a respeito de Tycho Brahe.

Tycho Brahe

Tycho Brahe encerra, na Astronomia, os limites da precisão das observações a olho nu. Suas medidas tinham precisão de, pelo menos, dez vezes mais que as anteriores. Esses dados foram fundamentais para Kepler elaborar sua teoria. Mas Tycho era refratário a compartilhar suas observações e dados, aos quais somente após sua morte Kepler pôde ter acesso integral e fundamentar suas leis. Para uma visão histórica detalhada, ver: <http://astro.if.ufrgs.br/bib/bibkepler.htm>. Acesso em: set. 2015.

Na sequência dos encontros, acreditamos ser produtivo discutir a segunda e a terceira leis de Kepler, lançando mão de exemplificações e dos exercícios propostos.

3. Os movimentos da Terra

Sugerimos iniciar esta seção conversando com os alunos sobre os diversos ciclos periódicos a que eles estão habituados: dias, meses, estações do ano e anos.

A partir desse início, sugerimos que esses ciclos estão associados ao movimento da Terra, que pode ser decomposto em vários ciclos periódicos como o dia, o ano e as estações do ano.

O tempo gasto pela Terra para executar uma volta completa ao redor do Sol é 365 dias 5 h 48 min 46 s. Esse é um fato que pode levar o aluno a entender que, como esse intervalo de tempo não corresponde a um número inteiro de dias solares, é preciso introduzir correções no calendário, como os anos bissextos.

As definições das zonas climáticas pelas latitudes dos círculos polares e dos trópicos podem ser conduzidas imaginando-se dois pesquisadores, situados um em cada polo, observando o Sol e verificando os solstícios e equinócios.

Os exercícios propostos visam desenvolver a habilidade de entendimento de fenômenos físicos e de como se relacionam com o cotidiano dos habitantes do planeta Terra.

4. Gravitação universal

Neste tópico, é interessante discutir com os alunos como as questões relativas aos trabalhos de Kepler integram-se às leis de Newton e como as leis de Newton são consequência das de Kepler.

Várias habilidades e competências fazem parte desse processo: a expressão dos fenômenos físicos nos diversos códigos, a interligação entre as diversas leis físicas e a interpretação de como essas leis estão ligadas à origem e ao comportamento do Universo.

As leis de Newton já foram apresentadas no Capítulo 5. Newton conhecia tanto o trabalho de Kepler quanto o de Galileu e procurou formular suas leis de forma a obter, dedutivamente, os resultados de seus antecessores.

O fato de corpos de massas diferentes caírem ao mesmo tempo – demonstrado por Galileu na forma de um diálogo – mostra que, para corpos com a mesma aceleração, a força é proporcional à massa.

Com o plano inclinado, Galileu mostrou que a força é proporcional à aceleração. Newton juntou essas duas proporções e fez uma pequena correção no princípio da inércia de Galileu. Para Galileu, por inércia, o corpo faria uma trajetória circular ao redor da Terra.

Com as três leis da dinâmica, Newton procurou uma lei de força universal entre os corpos celestes, isto é, que pudesse ser também aplicada aos corpos que nos rodeiam.

Provavelmente, ele tenha feito primeiro uma engenharia reversa, para chegar a $F = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$, para depois apresentar o processo direto, no qual, a partir dessa lei de força, ele deduziria todas as leis de Kepler e, de quebra, os problemas das marés, plano inclinado, polias, molas, movimento de fluidos, etc.

O trabalho de Newton vai muito além de uma síntese dos conhecimentos anteriores, principalmente pela ferramenta que ele desenvolveu – o Cálculo Integral e Diferencial –, a qual chamava de *método das fluxões*.

A pergunta que aparece na seção **Para refletir** permite discutir a ação a distância e, consequentemente, o conceito de campo gravitacional.

Podemos começar mostrando o quanto ele simplifica o cálculo do peso de um corpo, evitando que, a todo momento, tenha de se efetuar $P = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$ mas, simplesmente, aplicar $P = mg$.

Entretanto, não é esse o fato mais importante, e sim o desenvolvimento da competência de trabalhar com um conceito comum a toda a Física, que faz parte de qualquer abordagem avançada do assunto.

Optamos por falar simplesmente em "aceleração da gravidade", embora seja um abuso de linguagem, por ser a maneira mais comum de se descrevê-la, mas, a rigor, o valor de g é numericamente igual à aceleração de queda livre.

Acreditamos ser possível reservar um tempinho para comentar a influência de cada um dos termos da expressão $g = \frac{G \cdot M}{r^2}$, ou seja, descrever que o valor de g é proporcional à massa do astro e inversamente proporcional ao quadrado da distância ao seu centro.

O Exercício resolvido 2 pode ser útil, principalmente, para desenvolver a competência de entendimento da notação utilizada (código).

Os exercícios propostos para este tópico visam o desenvolvimento do entendimento de como os diversos fatores (grandezas físicas) se inter-relacionam enfatizando a distinção entre massa dos corpos, campo gravitacional e força gravitacional.

5. Órbitas

Este tópico pode ser iniciado pela ilustração sobre um corpo caindo. Na linguagem habitual, um corpo cair quer dizer que em algum momento ele vai bater no chão.

Esse é, talvez, um motivo da dificuldade que os alunos têm em aceitar que a Lua está caindo.

Feita essa introdução, é possível discutir a órbita circular. Em termos de Ensino Médio, normalmente, somente esse tipo de órbita é tratado, mas isso traz, pelo menos, dois problemas:

- o estudante acaba pensando que se o corpo orbital não tiver a velocidade "certinha" para estar em órbita circular ele vai cair sobre o corpo central;
- não ficam evidenciados os avanços obtidos por Kepler em relação ao modelo de Copérnico.

Para evitar essa ideia equivocada, você pode, em seguida, discutir um pouco sobre as órbitas elípticas e a velocidade de escape. É importante destacar que, se a velocidade do corpo orbital for inferior à velocidade de escape, sempre haverá uma órbita. É claro que, eventualmente, essa órbita pode interceptar a superfície do corpo central, como mostra o exemplo da figura do livro.

Física explica

Acreditamos que o texto *Imponderabilidade e microgravidade* seja um bom começo para que os alunos possam entender o que ocorre com os corpos dentro de uma estação orbital.

Utilizando esse texto, você pode conversar sobre o processo de pesar um corpo e utilizar as questões apresentadas ao final para desenvolver a habilidade de argumentação dos alunos, pedindo que eles redijam respostas, fundamentadas nas leis físicas expostas.

Embora o corpo das respostas dos alunos deva conter o equivalente às sugestões a seguir, ao examinar as justificativas individuais permitirão o desenvolvimento de competências para o uso do raciocínio científico.

1. Para que a resultante seja nula e a força elástica tenha a mesma intensidade que o peso.
2. A moeda ficará flutuando.

Os exercícios propostos visam desenvolver a capacidade de interpretação matemática dos modelos físicos, com os conceitos e leis que regem o comportamento das órbitas.

6. A energia mecânica e as trajetórias

A energia mecânica e os sistemas conservativos já foram discutidos em capítulos anteriores e, para iniciar, uma revisão dos conceitos de energia cinética e potencial pode servir para o aluno desenvolver suas habilidades de estabelecer ligações entre os diversos conceitos.

Nesse sentido, acreditamos que vale a pena ressaltar que a energia potencial depende da posição de referência escolhida. Nos problemas dos capítulos anteriores, a posição escolhida era o solo. No estudo da gravitação, entretanto, é habitual considerar energia potencial nula quando os corpos estiverem infinitamente separados.

Consequentemente, os sistemas orbitais, isto é, sistemas ligados, têm sempre energia potencial negativa, o que parece estranho para o aluno, sendo um ponto que requer esclarecimento.

O significado desse fato é que, para separar os corpos, devemos **fornecer** energia ao sistema.

Uma vez esclarecidas essas questões, o conceito de velocidade de escape pode ser apresentado.

Em construção

Para a seção escolhemos o astrônomo Johannes Kepler, que marcou a Física pela importância com que interpretou resultados experimentais e pela capacidade de expressar fatos da Natureza por modelos gerais.

Não podíamos deixar de homenagear também Tycho Brahe, devido à sua importância na obtenção de dados precisos na observação dos astros. Seu trabalho foi crucial para que Kepler pudesse elaborar suas leis sobre a cinemática do Sistema Solar.

Acreditamos que ao incentivar a leitura do texto e a procura de informações adicionais (seção **Trabalho em equipe**) sobre Kepler despertamos nos alunos a ideia de que cuidado e perseverança são essenciais para o bom trabalho científico.

O texto destaca a tentativa inicial de Kepler de adequar suas precisas medidas (e de Tycho Brahe) ao modelo heliocêntrico de Copérnico, de órbitas circulares e as pequenas diferenças que ele encontrou.

Um ponto interessante a ser comentado relativo à História da Ciência: o modelo baseado nas ideias de Ptolomeu (geocêntrico), com os ajustes dos equantes e epiciclos, fornecia previsões ligeiramente melhores que as de Copérnico.

Por que Kepler persistiu em sua busca? É uma boa hora para explanar que a Ciência não se faz apenas com observações. As ideias e a racionalidade são também de extrema importância. Muito provavelmente, o modelo de Ptolomeu soava por demais artificioso para Kepler, e o de Copérnico, muito mais harmonioso e racional. Finalmente, com as elipses, Kepler conseguiu sintetizar os movimentos planetários em três leis.

Experimento

A proposta da atividade *Medida de longitude* visa criar nos alunos a habilidade de trabalhar em equipe, na busca de modelos para a interpretação de fatos da natureza.

Uma ideia resumida das respostas esperadas é dada a seguir. Entretanto, os alunos podem ser incentivados a usar as próprias palavras para explicar o experimento.

1 Essa diferença é chamada de declinação magnética. Quer dizer, a bússola não aponta o norte verdadeiro. Não se assuste se a diferença for muito grande. Dependendo do local e do instante, a diferença pode ser superior a 20°.

2 Resposta pessoal.

3 Se os procedimentos todos foram bem cuidadosos, o erro não será superior a 1°.

4 Montamos a regra de três

$$\begin{matrix} 1\text{ h} & — & 15° \\ 3\text{ h} & — & x \end{matrix} \Rightarrow x = 45°$$

Como são três horas mais tarde em Greenwich, faz três horas que o Sol fez a passagem meridiana por lá, e essa cidade está a oeste de Greenwich. A longitude seria então 45° W.

Atividades complementares

1. (UFMT) A natureza exibe muitas regularidades. O comportamento e o aspecto dos astros são exemplos dessas regularidades. Algumas são muito fáceis de perceber, como a sequência dia/noite ou a mudança de fase da Lua. Outras só podem ser notadas com observações cuidadosas e bastante paciência. Sobre essas regularidades naturais relacionadas aos astros, julgue os itens.

a) O movimento aparente do Sol vai de oeste para leste e dura aproximadamente 12 horas. A duração do período luminoso varia de acordo com a época do ano e é maior no verão.

b) O movimento lunar aparente ocorre de leste para oeste. O aspecto da Lua muda gradualmente ao longo de aproximadamente 27 dias, passando pelas fases nova, crescente, cheia e minguante.

c) O aspecto do céu noturno, observado de um mesmo local numa mesma hora, muda um pouco a cada dia, mas, ao final de um ano, volta a se repetir.

d) Os cometas se movem ao redor do Sol, de acordo com as leis de Kepler.

e) Os cometas emitem luz; não são, portanto, astros iluminados, mas luminosos.

Resolução:

a) Incorreta. O movimento aparente é de leste para oeste.

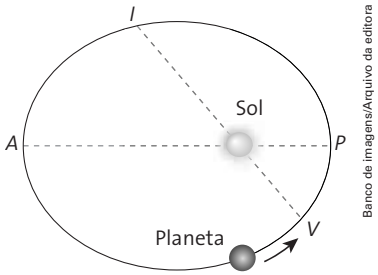
b) **Correta**.

c) **Correta**. A cada ano a Terra faz uma revolução ao redor do Sol. A visibilidade das constelações depende da posição da Terra em relação ao Sol, posição esta que se repete a cada ano. Observe, entretanto, que se levarmos em conta os planetas, a afirmação seria falsa.

d) **Correta**.

e) Incorreta. Cometas são formados por rochas, gelo e poeira. São vistos porque o Sol os ilumina.

2. (Unicamp-SP) A figura a seguir representa exageradamente a trajetória de um planeta em torno do Sol. O sentido do percurso é indicado pela seta. O ponto *V* marca o início do verão no hemisfério sul e o ponto *I* marca o início do inverno. O ponto *P* indica a maior aproximação do planeta ao Sol, o ponto *A* marca o maior afastamento. Os pontos *V*, *I* e o Sol são colineares, bem como os pontos *P*, *A* e o Sol.



Banco de imagens/Arquivo da editora

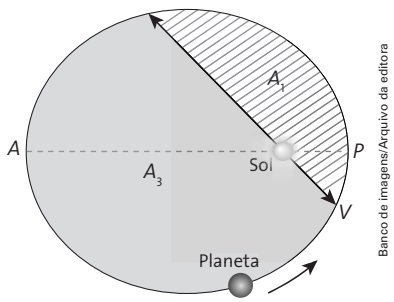
a) Em que ponto da trajetória a velocidade do planeta é máxima? Em que ponto essa velocidade é mínima? Justifique sua resposta.

b) Segundo Kepler, a linha que liga o planeta ao Sol percorre áreas iguais em tempos iguais. Coloque em ordem crescente os tempos necessários para realizar os seguintes percursos: *VPI*, *PIA*, *IAV*, *AVP*.

Resolução:

a) De acordo com a segunda lei de Kepler, a velocidade do planeta é máxima no periélio (ponto *P*) e é mínima no afélio (ponto *A*).

b) Vamos analisar as áreas varridas, conforme a figura abaixo.



Banco de imagens/Arquivo da editora

VPI: A área varrida (A_1) é menor que a correspondente a meia elipse.

PIA: A área varrida corresponde à área de meia elipse.

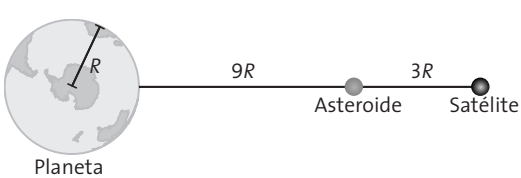
IAV: A área varrida (A_3) é maior do que a correspondente a meia elipse.

AVP: A área varrida corresponde à área de meia elipse.

Como os tempos são proporcionais às respectivas áreas, temos:

$T_{VPI} < T_{PIA} = T_{AVP} < T_{IAV}$

3. (UFF-RJ) Em certo sistema planetário, alinham-se, num dado momento, um planeta, um asteroide e um satélite, como representa a figura.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Sabe-se que:

1) a massa do satélite é mil vezes menor que a massa do planeta;

2) o raio do satélite é muito menor que o raio *R* do planeta.

Determine a razão entre as forças gravitacionais exercidas pelo planeta e pelo satélite sobre o asteroide.

Resolução:

Força gravitacional do planeta sobre o asteroide:

$$F_P = \frac{GM_P m_A}{R_P^2} \Rightarrow F_P = \frac{GM_P m_A}{100R^2}$$

Força gravitacional do satélite sobre o asteroide:

$$F_S = \frac{GM_S m_A}{R_S^2} \Rightarrow F_S = \frac{GM_S m_A}{9R^2}$$

A razão entre as duas forças é:

$$\frac{F_p}{F_s} = \frac{\dfrac{GM_P m_A}{100R^2}}{\dfrac{GM_S m_A}{9R^2}} = \frac{GM_P m_A}{100R^2} \cdot \frac{9R^2}{GM_S m_A} \Rightarrow \frac{F_P}{F_S} = \frac{M_P}{100} \cdot \frac{9}{M_S}$$

De acordo com o enunciado, $M_P = 1000\, M_S$, portanto:

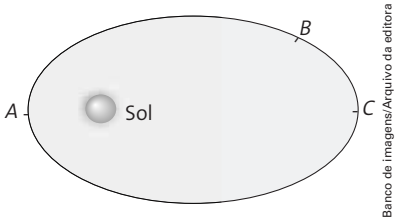
$$\frac{F_P}{F_S} = \frac{1000M_S}{100} \cdot \frac{9}{M_S} \Rightarrow \frac{F_P}{F_S} = 90$$

4. (UFPI) Um planeta gira, em órbita elíptica, em torno do Sol. Considere as afirmações:

I. Na posição *A*, a quantidade de movimento linear do planeta tem módulo máximo.

II. Na posição *C*, a energia potencial do sistema (Sol + planeta) é máxima.

III. Na posição *B*, a energia total do sistema (Sol + planeta) tem um valor intermediário, situado entre os correspondentes valores em *A* e *C*.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Assinale a alternativa correta.

a) I e III são verdadeiras.
b) I e II são verdadeiras.
c) II e III são verdadeiras.
d) Apenas II é verdadeira.
e) Apenas I é verdadeira.

Resolução:

I. **Verdadeira**. Em *A*, a velocidade orbital tem maior módulo, portanto, maior quantidade de movimento.

II. **Verdadeira**. A energia potencial do planeta é dada por $E_p = -G \cdot \frac{M \cdot m}{d}$, portanto, quanto maior a distância, mais próxima de zero ela vai se tornando. É importante lembrar que a energia potencial será nula quando os corpos estiverem infinitamente separados.

III. **Falsa**. Como o sistema é conservativo, a energia mecânica é constante.

Resposta: alternativa **b**.

5. (Unicamp-SP) O planeta Mercúrio tem massa $M_M = 0{,}040\, M_T$ e diâmetro $d_M = 0{,}40 d_T$. Nessas expressões M_T e d_T são massa e o diâmetro da Terra, respectivamente.

a) Qual seria, em Mercúrio, o peso da água contida em uma caixa de 1000 litros?

b) Um satélite da Terra em órbita circular de 40 000 km de raio tem período igual a 24 horas. Qual seria o período de um satélite de Mercúrio em órbita circular de mesmo raio?

Resolução:

a) A aceleração da gravidade na Terra é

$g_T = \frac{GM_T}{R_T^2} = 10\ m/s^2$

Para Mercúrio: $g_M = \frac{GM_M}{R_M^2}$. Comparada com a da Terra, temos:

$g_M = \frac{G \cdot 0{,}04\, M_T}{(0{,}04\, R_T)^2} = \frac{0{,}04G \cdot M_T}{0{,}16R_T^2}, \Rightarrow$

$\Rightarrow g_M = \frac{0{,}25G \cdot M_T}{R_T^2} \Rightarrow g_M = 2{,}5\ \frac{m}{s^2}$

A massa de 1 000 litros de água corresponde a aproximadamente 1 000 kg. O peso (P_M) dessa massa em Mercúrio vale:

$P_M = mg_M = 1000 \cdot 2{,}5 \Rightarrow P_M = 2500\ N$

b) Como $T = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM_M}}$ temos, considerando a Terra:

$24\ h = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$

Em Mercúrio, teríamos:

$T_M = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM_M}} = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM \cdot 0{,}04}} = \frac{1}{0{,}2}2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$

$\qquad\qquad\qquad

b) De acordo com a expressão $\frac{R^3}{t^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$ temos:

$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 R^3}{GM}}$. Efetuando-se as substituições e calculando, obtemos $T \simeq 1$ h 39 min.

12 A velocidade de órbita circular de um satélite é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{d}} = \sqrt{\frac{6{,}7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{6 \cdot 10^6 + 720 \cdot 10^3}} \Rightarrow$$

$$v = \sqrt{\frac{4{,}02 \cdot 10^{-14}}{6{,}72 \cdot 10^6}} \Rightarrow$$

$$v = \sqrt{5{,}98 \cdot 10^7} \Rightarrow 7{,}7 \cdot 10^3 \text{ m/s} = 7{,}7 \text{ km/s}$$

Resposta: alternativa **d**.

13 a) A velocidade para órbita rasante em Metis é:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 9{,}0 \cdot 10^{16}}{20 \cdot 10^3}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = 17{,}3 \text{ m/s} = 62{,}3 \text{ km/h}$$

b) Como $v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ e se $\Delta t = T$ então $\Delta S = 2\pi R$.
Assim:

$$\Delta t = \frac{2\pi R}{v} \Rightarrow \Delta t = \frac{2\pi \cdot 20 \cdot 10^3}{17} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t = 7{,}39 \cdot 10^3 \text{ s} \Rightarrow \Delta t \simeq 2 \text{ h}$$

14 a) Como $E_C = \frac{1}{2} mv^2$, a maior energia cinética ocorre em *A* (periélio).

b) Como a energia potencial é dada por $E_P = -\frac{GMm}{d}$, a energia potencial é maior em *C*.

c) Como o sistema é conservativo, a energia mecânica é constante, ou seja, a mesma em todos os pontos.

Retomando

15 O fato interessante desta questão é que ela mostra que as teorias da Física fundamentam-se na construção de modelos obtidos da natureza, a partir do trabalho experimental.

Resposta: alternativa **e**.

16 A massa do telescópio é grande. Entretanto, ele se encontra em estado de imponderabilidade.

Resposta: alternativa **d**.

17 A aceleração da gravidade no planeta *P*, no ponto de altura dada, vale:

$$g = G \cdot \frac{m_P}{(R+h)^2} = 6{,}70 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{6{,}00 \cdot 10^{23}}{\left(2{,}00 \cdot 10^6 + 3{,}00 \cdot 10^6\right)^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow g = \frac{4{,}02 \cdot 10^{13}}{2{,}50 \cdot 10^{13}} \Rightarrow g = 1{,}61 \text{ m/s}^2.$$

Resposta: alternativa **a**.

Compreendendo o mundo

1 Sendo 1 tep $= 10^{10}$ cal e 1 cal $= 4$ J, então: 1 tep $= 4 \cdot 10^{10}$ J. Como a oferta interna de (OIE) energia, em 2014, foi de 305,6 Mtep, temos:

$$\text{OIE} = 305{,}6 \cdot 10^6 \text{ tep} \Rightarrow \text{OIE} = 305{,}6 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{10} \text{ J} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{OIE} = 1{,}22 \cdot 10^{19} \text{ J}$$

2 Consumo $= 200$ kWh/mês $= 200$ kWh $\cdot$ 12/ano $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ C $= 2\,400$ kWh/ano $= 2{,}4 \cdot 10^3 \cdot 3{,}6 \cdot 10^6$ J/ano $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ C $= 8{,}6 \cdot 10^9$ J/ano

Como a OIE é $1{,}2 \cdot 10^{19}$ J e cada residência utiliza $8{,}6 \cdot 10^9$ J/ano, o número de residências que seriam atendidas é:

$$N = \frac{1{,}2 \cdot 10^{19}}{8{,}6 \cdot 10^9} \Rightarrow N = 1{,}4 \cdot 10^9 \text{ residências}$$

3 Em 1979, o consumo diário *per capita*, no Brasil, era de 23 000 kcal e, a média mundial era de 42 500 kcal. Portanto, a porcentagem do consumo médio do Brasil, em relação a média mundial, é: $\frac{23\,000}{42\,500} = 54\%$

4 A associação entre as duas colunas é: A-IV; B-I; C-III; D-V e E-II.

5 Oriente seus alunos a consultar *sites* confiáveis na internet e ressalte o fato de que esses valores variam de pessoa para pessoa; existem diferenças entre homens e mulheres, etc.

6 O *site* da Agência Internacional de Energia, disponível em: <www.iea.org/>. Acesso em: maio 2016.

7 Sugerimos que, inicialmente, sejam discutidas as diferenças entre fontes renováveis e não renováveis. A utilização das fontes renováveis, como a energia eólica e a energia solar, pode-se manter ao longo dos anos, sem possibilidade de esgotamento. Já as fontes não renováveis apresentam recursos limitados, como é o caso dos combustíveis fósseis. Atualmente, uma das principais fontes de energia é o petróleo, que, além de ser uma fonte não renovável, acarreta aumento do efeito estufa e é a causa de muitas divergências entre países.

8 Esta questão pode ser entendida como continuação da pesquisa anterior sobre fontes de energia e associação das fontes à emissão de gás carbônico (CO_2).

9 Para a pesquisa, sugerimos a consulta ao *site* da Agenda 21, disponível em: <www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>. Acesso em: maio 2016.

UNIDADE 4 – O ser humano e as máquinas

CAPÍTULO 10 – Estática dos corpos rígidos – Máquinas simples

A Estática é um dos ramos da Física mais presente no cotidiano de todos. Na construção de uma casa, em pontes, viadutos, mesas, cadeiras, etc.

Uma célebre propaganda de TV terminava dizendo: "O que move o mundo? O que move o mundo não são as respostas, mas sim as perguntas". Nessa linha de abordagem, é interessante começar o tema com algumas perguntas, como:

Por que uma mesa com três pés não balança? Uma pessoa com 80 kg pode içar uma carga de 300 kg? A força que um alicate aplica ao cortar um fio corresponde ao peso de um corpo com qual massa? E assim por diante.

Uma atividade interessante é o "braço de ferro" que ninguém ganha, ou que ganha uma vez cada um.

Essa atividade se refere à parte final do capítulo – Alavancas no corpo humano – mas pode ser o tema inicial para o desenvolvimento da teoria.

Coloque dois alunos, com praticamente a mesma capacidade física, com uma das mãos estendidas e sobreposta à do outro. Se ambos forem destros, eles devem estender a mão direita.

Ambas as mãos devem permanecer espalmadas, horizontais e alinhadas com o braço o tempo todo. O que estiver com a mão por cima deve tentar abaixar a mão do colega, enquanto este último deve tentar levantar a mão do opositor.

Em seguida, eles trocam de papel, isto é, o que estava com a mão na parte superior vai pô-la embaixo.

Se não houver grande diferença física entre os dois alunos, ganha sempre aquele que estiver com a mão por baixo. A ação do bíceps é mais forte que a ação do tríceps. Além desses músculos terem "potências" diferentes, são também diferentes tipos de alavanca. Você pode acrescentar que isso será explicado ao final do capítulo.

1. O equilíbrio do corpo rígido

O equilíbrio do ponto material já foi estudado no capítulo anterior. Vamos então para o equilíbrio de corpos extensos.

Centro de massa

Iniciamos falando do **centro de massa**. Uma sugestão é começar tentando equilibrar um livro de capa dura com apenas um dedo. Um cabo de vassoura, postado na horizontal e simplesmente apoiado em um dedo, seria melhor, pois começaríamos com um problema unidimensional. Você aproveitaria para mostrar que o ponto em que deve ser colocado o dedo é o ponto médio do cabo (se ele for homogêneo e de secção transversal uniforme). No caso do livro o problema é bidimensional e então precisamos localizar duas coordenadas para achar a posição do dedo – as coordenadas do centro de massa.

Na verdade, com esse processo, não estamos achando o centro de massa, mas sim o centro de gravidade.

Como o texto destaca, no caso de um campo gravitacional uniforme, eles coincidem, mas imagine um poste extremamente alto, com quilômetros de altura. Uma vez que a intensidade do campo gravitacional, rigorosamente falando, diminui com o aumento da altitude, a metade superior do poste é menos atraída que a metade inferior e, portanto, o centro de gravidade não seria no ponto médio. Mas esse é um comentário apenas para você, professor. Seria inconveniente e desnecessário introduzir essa complicação para os alunos logo de início.

Há duas observações importantes sobre o centro de massa de um corpo:

- o centro de massa de um sólido pode não estar localizado no próprio objeto, como mostra o exemplo da barra em U;
- se o objeto não for sólido, o centro de massa varia conforme varia a forma do objeto. Uma pessoa com as pernas dobradas tem o centro de massa em uma posição diferente da que teria com as pernas esticadas. O movimento dos braços dos equilibristas tem essa intenção: adequar a posição do centro de massa do corpo deformável de forma a se alinhar verticalmente com o apoio.

Os tipos de equilíbrio, estável, instável e indiferente, não são uma mera classificação formal. Explique que, por exemplo, na ponte estaiada procurou-se um equilíbrio estável, mas em um automóvel em estrada plana horizontal o equilíbrio é indiferente. Já um jogador de futebol com a bola apoiada no peito do pé sabe que aquele equilíbrio é instável e por isso o controle é fundamental, como quando equilibramos uma vassoura verticalmente na ponta do dedo. Com um pequeno treino você pode fazer isso. Já com a bola, poucos têm esse controle.

Na Dinâmica, o centro de massa é tal que, se uma única força for aplicada ao corpo numa direção que contém esse ponto, o corpo acelera sem girar. Essa única força pode ser a resultante de várias, cujo torque em relação a determinado eixo é nulo. As coordenadas do centro de massa de um conjunto de n partículas distribuídas pelo espaço, vistas no capítulo anterior, são:

$$x_{cm} = \sum_{k=1}^{n} m_k x_k ; y_{cm} = \sum_{k=1}^{n} m_k y_k \text{ e } z_{cm} = \sum_{k=1}^{n} m_k z_k .$$

Aqui vão alguns exemplos resolvidos.

Exemplo 1

A massa da Terra é cerca de 80 vezes a massa da Lua e a distância entre seus centros é aproximadamente 384 000 km. Determinar a localização do centro de massa do sistema Terra-Lua.

Resolução:

Vamos adotar o centro da Terra como origem. A posição do centro de massa é dada por:

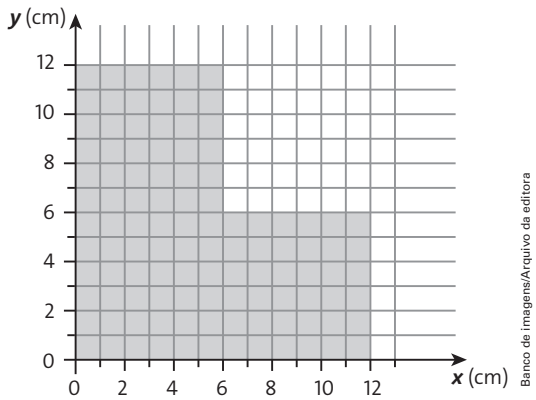
$$x_{cm} = \frac{m_T X_T + m_L X_L}{m_T - m_L} \Rightarrow x_{cm} = \frac{80 m_L \cdot 0{,}1\, m_L \cdot 384\,000}{80\, m_L + m_L} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x_{cm} = 4\,741 \text{ km}$$

Esse ponto localiza-se dentro da Terra, pois o raio da Terra é de 6 400 km.

Exemplo 2

Obter as coordenadas do centro de massa da chapa homogênea cujas dimensões e posição são apresentadas na figura.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Resolução:

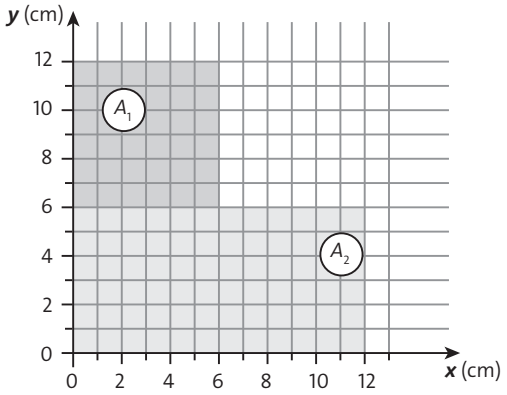
Primeiro, vamos dividir a chapa em dois elementos de área, conforme o esquema.

Em seguida, por simetria determinamos o centro de massa de cada elemento de área.

$$A_1 \begin{cases} x_1 = 3 \text{ cm} \\ y_1 = 9 \text{ cm} \end{cases} ; A_2 \begin{cases} x_2 = 6 \text{ cm} \\ y_2 = 3 \text{ cm} \end{cases}$$

Para finalizar, encontramos o centro de massa do sistema formado por A_1 e A_2, que nada mais é que o centro de massa da chapa em "L".

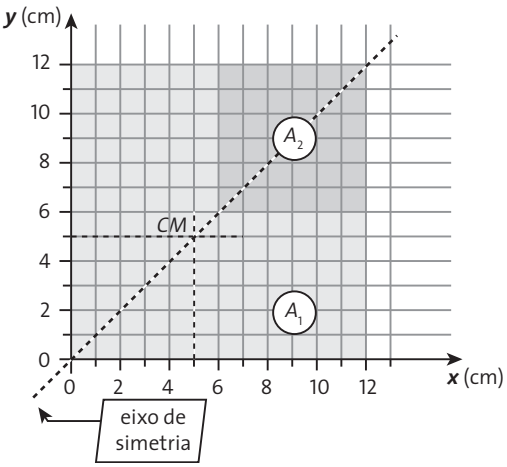
Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora



$$x_{cm} = \frac{A_1 X_1 + A_2 X_2}{A_1 + A_2} \Rightarrow x_{cm} = \frac{36 \cdot 3 + 72 \cdot 6}{36 + 72} \Rightarrow x_{cm} = 5 \text{ cm}$$

$$y_{cm} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2} \Rightarrow y_{cm} = \frac{36 \cdot 9 + 72 \cdot 3}{36 + 72} \Rightarrow y_{cm} = 5 \text{ cm}$$

Outra maneira de resolver o problema é considerar que a chapa em questão foi obtida de uma chapa quadrada de área $A_1 = 12 \times 12$ cm², da qual foi **subtraída** uma chapa quadrada menor, de área $A_2 = 6 \times 6$ cm². No cálculo da posição do centro de massa, a região subtraída é computada como uma parcela negativa da média ponderada, como segue:



$$x_{cm} = \frac{A_1 X_1 - A_2 X_2}{A_1 - A_2} \Rightarrow x_{cm} = \frac{144 \cdot 6 - 36 \cdot 9}{144 - 36} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x_{cm} = 5 \text{ cm}$$

$$y_{cm} = \frac{A_1 y_1 - A_2 y_2}{A_1 - A_2} \Rightarrow y_{cm} = \frac{144 \cdot 6 - 36 \cdot 9}{144 - 36} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y_{cm} = 5 \text{ cm}$$

Como comentário final, observe que essa chapa tem um **eixo de simetria** e, portanto, o centro de massa pertence a esse eixo.

Momento de uma força

Aqui, retomamos a discussão de momento de uma força, feita no capítulo anterior, para as aplicações nas máquinas simples, partindo da mais elementar: a alavanca.

O Exercício resolvido 1 visa mostrar a importância do peso próprio da alavanca e também elucidar uma confusão muito comum entre os estudantes: pensar que as massas à direita e à esquerda do pivô são iguais.

Se houver tempo e a turma corresponder, há mais exercícios na seção **Retomando** e pode ser comentado o teorema das três forças, que, muitas vezes, abrevia a solução de vários problemas.

Teorema das três forças

Se um corpo rígido estiver em equilíbrio sob a ação de somente três forças, pode-se demonstrar que são válidas as seguintes condições:

- as forças são **coplanares**;
- as linhas de ação dessas forças ou são concorrentes ou são paralelas.

A demonstração é um pouco trabalhosa, mas interessante. Se você tiver curiosidade (e paciência) ela aparece a seguir em duas partes.

1ª parte: Mostrar que as forças são coplanares

Primeiro, vamos considerar que as forças não sejam paralelas e nomeá-las $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$. Se o corpo está em equilíbrio, é necessário que:

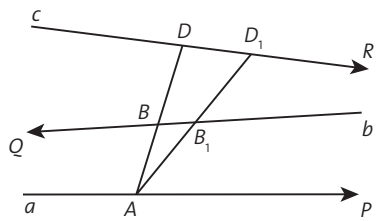
$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0} \rightarrow$ Equilíbrio translacional

$\sum_{i=1}^{3} \vec{r}_i \wedge \vec{F}_i = \vec{0} \rightarrow$ Equilíbrio rotacional (o símbolo $\wedge$ representa o produto vetorial).

O torque total ($\Sigma \vec{m}$) é um vetor, que pode, como todo vetor, ser decomposto em três eixos, ortogonais ou não, desde que não haja eixos paralelos. O componente de cada eixo é o somatório dos momentos em relação a esse eixo.

Se o corpo está em equilíbrio rotacional, o vetor torque total é nulo e, portanto, seus componentes, em relação a qualquer eixo, serão nulos.

Admitamos que as linhas de ação das três forças sejam retas reversas, cujas vistas frontais são apresentadas na figura seguinte.



Apenas para maior clareza, admitamos que a reta *a* seja a linha de ação de $\vec{F}_1$, *b*, a linha de ação de $\vec{F}_2$, e *c*, a linha de ação de $\vec{F}_3$.

Escolhemos um ponto arbitrário *A*, em *a*, e um *B*, em *b*. Por esses dois pontos podemos conduzir uma reta e tomá-la como eixo 1 para o cálculo dos momentos. Como as linhas de ação de $\vec{F}_1$ e de $\vec{F}_2$ (retas *a* e *b*) interceptam esse o eixo 1, o momento delas, em relação a esse eixo, é nulo.

O somatório dos três momentos é nulo, logo, o momento de $\vec{F}_3$ em relação a esse eixo 1 deve ser nulo também, caso contrário o somatório não se anularia. Muito bem, ficamos com duas possibilidades para $\vec{F}_3$: ou $\vec{F}_3 = \vec{0}$, que não pode ser admitida porque nesse caso teríamos apenas duas forças, ou a linha de ação de $\vec{F}_3$ também intercepta o eixo 1. Esta última possibilidade é então o que está acontecendo, e o ponto em que o eixo 1 intercepta *c* chamamos de *D*.

Agora, considerando ainda o ponto *A* de *a*, escolhemos outro ponto em *b*, que chamaremos de B_1, conduzimos uma reta pelos pontos *A* e B_1 e esta será um novo eixo – eixo 2. Repetimos o mesmo raciocínio que fizemos para o eixo 1 e vamos concluir que o eixo 2 também intercepta *c*, em um ponto que chamaremos D_1.

Os eixos 1 e 2 são retas convergentes em *A* e determinam um plano, que chamaremos de α. Se dois pontos distintos de uma reta pertencem a um plano, a reta pertence ao plano. Isso ocorre para a reta *b* e para a *c*. Dessa forma, *b* e *c* são coplanares, ou seja, pertencem a α.

Resta ainda provar que a reta *a* também pertence a esse plano.

O ponto *A* foi um ponto escolhido arbitrariamente em *a* e pertence a α. Escolhendo esse ponto em qualquer outra posição, a

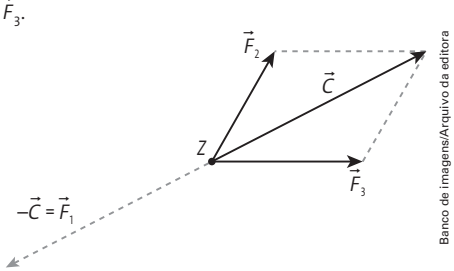
conclusão de que ele pertence a α permanece. Isto é, já que *A* é arbitrário, todos os pontos de *a* pertencem a α, e, finalmente, concluímos que as linhas de ação das três forças são coplanares. Todas estão no plano que denominamos α.

2ª parte: Mostrar que as linhas de ação ou são concorrentes ou são paralelas

Há a possibilidade de equilíbrio de um sólido com as três forças paralelas. Para mostrar essa possibilidade basta um exemplo qualquer de um sólido em equilíbrio sob a ação de três forças nessas condições. Observe, entretanto, que mesmo nessa possibilidade continua valendo a 1ª parte da demonstração, ou seja, elas serão coplanares.

Se as forças não forem paralelas, como sabemos que são coplanares, escolhemos as linhas de ação de duas delas, por exemplo, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$, e determinamos um ponto *Z* em que essas duas linhas de ação convergem.

Podemos agora encontrar a soma dessas duas forças: $\vec{C} = \vec{F}_2 + \vec{F}_3$.



Soma de duas das forças que agem no corpo.

Como $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ pertencem a α, a linha de ação de $\vec{C}$ também está contida em α e além disso passa por *Z*.

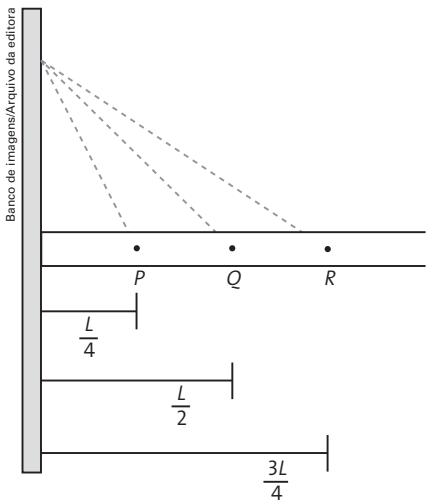
Agora fazemos a seguinte pergunta: quem é $\vec{F}_1$?

Como $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$, então $\vec{F}_1 = -(\vec{F}_2 + \vec{F}_3) = -\vec{C}$, conforme está representado na figura acima. Logo, $\vec{F}_1$ tem a mesma linha de ação de $\vec{C}$ que passa pelo ponto *Z*, ou seja, as três linhas de ação são concorrentes nesse ponto, como devia ser provado.

A seguir, mostramos um exemplo de teste de vestibular em que a aplicação desse teorema se faz útil.

Exemplo

(Ufla-MG) Uma barra delgada e homogênea está simplesmente apoiada na parede, sem atrito, como mostra a figura a seguir. Para que o sistema fique em equilíbrio, o fio deve estar ligado ao ponto:



a) *Q*
b) *R*
c) *P*, *Q* ou *R*
d) *Q* ou *R*
e) *P* ou *R*

Resolução:

Como não há atrito entre a parede e a barra, a linha de ação da força que a parede aplica na barra é horizontal. A linha de ação da força peso é vertical e passa pelo ponto médio da barra (*Q*). Portanto, é no ponto *Q* que as linhas de ação da força peso e da ação da parede concorrem. Nesse ponto (*Q*) deve passar a linha de ação do fio e nele o fio deve estar fixado.

Resposta: alternativa **a**.

2. Máquinas simples

É interessante iniciar comentando situações nas quais desejamos ampliação do movimento ou ampliação da força aplicada.

Exemplos de máquinas simples ampliadoras de movimento são: vassouras, raquetes de tênis, enxada, martelo para pregar, pincéis longos, baquetas de tambor, remos, etc.

Agora, aqui vão alguns exemplos de máquina ampliadoras da força: pé de cabra, alicate, martelo arrancando pregos, chave inglesa, cunhas e plano inclinado.

Aproveitando essa apresentação inicial, é interessante comentar que não é possível obter as duas coisas ao mesmo tempo com as máquinas simples (ampliação do movimento e da força) e que isso está intimamente ligado ao princípio da conservação da energia. A ampliação da força acarreta uma redução de deslocamento e vice-versa, de forma que as máquinas simples não ampliam o trabalho realizado pela força potente (nem reduzem, desconsiderando os efeitos dissipativos).

Ao nomear os tipos de alavanca, você pode discutir com os alunos que nomear pelo que acontece nas extremidades levaria a ambiguidades, já que as alavancas têm dois extremos. Agora fica fácil justificar por que se escolhe observar o que acontece no meio para nomeá-las e, por isso, os três tipos começam com o prefixo "inter". Pronto! Se no meio está o pivô, ela é interfixa, se no meio está a força potente, ela é interpotente e, finalmente, se no meio está a resistência, ela é inter-resistente.

O tópico detalha cada um dos tipos, com vários exemplos, assim como detalha o cálculo da vantagem mecânica (em termos de força).

Física tem História

Sugerimos uma conversa com o professor de História e, se possível, fazer um trabalho em conjunto. Poderão ser apresentados cartazes com algumas ferramentas pré-históricas. Outra possibilidade é chamar o professor de História para auxiliar na discussão.

1. As principais finalidades das ferramentas eram cortar, abrir ou triturar alimentos, além de proteção.
2. As ferramentas proporcionaram maior facilidade para conseguir alimentos. Um exemplo que o professor pode usar é que o homem primitivo usava certos tipos de ferramentas feitas de pedra para abrir cocos. Sem elas , a abertura deles seria muito mais difícil. Algumas ferramentas também eram usadas na caça. Lanças e pedras foram usadas pelo homem primitivo.
3. Sim. O aparecimento de ferramentas possibilitou o surgimentos de novas habilidades e desafios para o ser humano, contribuindo para sua evolução.

3. Alavancas do corpo humano

Esta seção visa mostrar como é importante o entendimento das leis das alavancas na biomecânica.

Ao final, é mostrada a diferença da ação do bíceps e do tríceps na tentativa de elevação de um corpo – a explicação do "braço de ferro" em que a mão de baixo sempre ganha.

Para mais detalhes sobre as alavancas no corpo humano sugerimos o *site* do professor de fisioterapia Alexandre Souza. Disponível em: <http://professoralexandrefisio.blogspot.com.br/2011/03/as-alavancas-e-o-corpo-humano.html>. Acesso em: set. 2015.

Para refletir

Ao efetuar um chute em uma bola, são envolvidos os músculos do quadril, da coxa, da perna e do pé; os mais importantes são os quadríceps, isquiotibiais, adutores, íliopsoas, bíceps, gastrocnêmios e tibiais. Existem ainda músculos menores, além dos músculos do abdômen, que também são envolvidos.

Física explica

1. A ponte Rio-Niterói é apoiada.
2. Uma das fortes razões é que a metalurgia da época não conseguiu produzir os cabos resistentes, como os de aço, de que dispomos hoje.

Em construção

O fato de Arquimedes ter estudado em Alexandria com sucessores de Euclides foi bastante importante para sua formação e para sua habilidade em usar conceitos de Geometria para resolver problemas físicos. Aconselhamos aqui que você também dê destaque a outras características, como a curiosidade e a persistência, importantes para Arquimedes, mas que podem ser trabalhadas por qualquer pessoa.

Experimento

1. O centro de massa se comporta como se toda massa estivesse nele concentrada. Então, é nesse ponto que deveremos colocar o dedo.
2. Exceto pequenos erros gráficos no traçado das medianas e dos segmentos experimentais, os pontos devem coincidir.
3. Como o centro de massa se comporta como se toda a massa do corpo estivesse nele concentrada, se aplicarmos a força exatamente no centro de massa só conseguiremos movimento de translação. Fica fácil de visualizar isso se pegarmos uma roda qualquer, de um carrinho de brinquedo, e espetando o clipe aberto em seu centro, não conseguimos, chacoalhando a mão, fazê-la girar. Por outro lado, se espetarmos o clipe em qualquer ponto fora do centro, chacoalhando, a força aplicada terá determinado momento em relação ao centro de massa e podemos conseguir uma rotação acelerada, coordenando bem os movimentos.
   No caso da chapa irregular, os pontos serão *A*, *B*, *C* ou *D*, mas não o centro de massa.

Atividades complementares

Atividade prática

Esta atividade prática é bem simples e pode ser realizada em sala de aula com o professor orientando e alguns alunos voluntários seguindo sua orientação.

O objetivo é analisar o centro de massa do corpo humano. Trata-se de uma demonstração simples, na qual podem participar quantos alunos quiserem, mas aconselhamos que seja um aluno de cada vez. Sugerimos que você faça um desafio:

Pergunte quem consegue encostar (em pé) as mãos nos pés sem dobrar as pernas. Peça a um aluno que mostre como consegue fazer isso.

A seguir, peça ao aluno para encostar em uma parede. Ele deve ficar com o corpo todo encostado nela (principalmente os calcanhares e as costas). Pergunte se consegue encostar novamente as mãos nos pés sem dobrar as pernas, conforme a figura. O aluno terá dificuldades e provavelmente não conseguirá. Pergunte se mais alguém quer tentar.


Dam d'Souza/Arquivo da editora

Após alguns alunos tentarem, faça as seguintes perguntas para a sala refletir:

1. Onde fica aproximadamente o centro de massa do corpo humano quando estamos em pé?
O centro de massa do corpo humano fica próximo ao umbigo nessa situação.

2. Quando nos inclinamos, o centro de massa do corpo humano muda de lugar?
Sim. O centro de massa de uma pessoa não depende apenas da massa da pessoa, mas também de como a pessoa está posicionada. Quando estamos em pé, o centro de massa fica numa linha que passa no centro da cabeça e próximo ao umbigo. Se, por exemplo, esticamos uma perna e encolhemos outra, o centro de massa é alterado levemente.

3. Por que não se consegue encostar as mãos nos pés com as pernas esticadas quando estamos encostados em uma parede?
Porque quando não há parede, ao tentarmos encostar as mãos nos pés com as pernas esticadas, para nos equilibrarmos, naturalmente inclinamos o corpo deixando o quadril um pouco para trás. Assim não perdemos o equilíbrio. Quando encostamos na parede, ela impossibilita a inclinação para trás. Assim, o centro de massa do corpo é deslocado um pouco para a frente e não conseguimos manter o equilíbrio.

Funcionamento de guindastes

Esta atividade complementar tem como objetivo fornecer aos alunos conhecimentos adequados dos processos físicos e tecnológicos que envolvem os guindastes – um dos principais mecanismos usados em grandes construções.

Guindastes utilizam os diversos princípios relacionados ao centro de massa, torque e equilíbrio. Sugerimos ao professor que proponha aos alunos um trabalho, no qual serão avaliados os seguintes tópicos:

- A história do guindaste e sua evolução.
- Os principais guindastes utilizados atualmente.
- Lugares onde os guindastes são mais utilizados.
- O peso máximo que esses guindastes podem carregar.
- As dimensões desses guindastes.
- Os princípios físicos envolvidos.

Dessa forma, os alunos poderão ter uma ideia mais clara da importância que os conceitos envolvidos no capítulo têm na vida prática, não sendo apenas um conhecimento teórico. Sugerimos que você solicite aos alunos que deem ênfase nos princípios físicos envolvidos no funcionamento do guindaste e que proponham (estimem) as dimensões de um guindaste capaz de levantar um peso de 50 t, por exemplo. Nessa estimativa, os princípios físicos e as hipóteses dos alunos devem estar detalhados.

Resoluções dos exercícios

Nas resoluções seguintes, o símbolo parecido com um preguinho é usado para destacar o polo em relação ao qual foram calculados os momentos e a seta curva para mostrar qual sentido (horário ou anti-horário) foi escolhido como positivo.

1 a) O módulo do momento da força peso da bota, em relação ao centro articular do joelho, é dado por $M = P_b \cdot d \cdot \text{sen}\,\theta$. Nessa expressão, θ é o ângulo que a perna forma com a vertical. Para as quatro posições mostradas na figura, temos que os valores de θ são: 0°, 30°, 60° e 90°, e os respectivos valores do seno do ângulo são: 0; 0,50; 0,87 e 1.

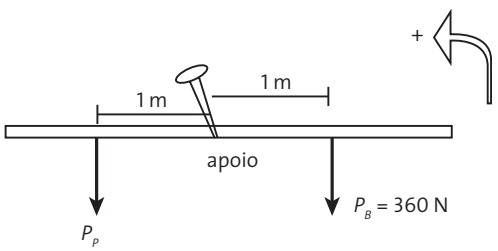
Portanto, o módulo do momento da força peso da bota é máximo na posição 90° e mínimo na posição 0°.

b) Para a posição 60°, temos:

$M = P_b \cdot d \cdot \text{sen}\,60° \Rightarrow M = 20 \cdot 0{,}40 \cdot 0{,}87 \Rightarrow$

$\Rightarrow M = 7{,}0\ \text{N} \cdot \text{m}$

2 a) O desenho a seguir mostra a figura (sem escala) com as forças que atuam sobre a barra na primeira situação. Como o peso da tábua é 60 N/m e o comprimento total é de 6 m, o peso total dessa tábua é 360 N e pode ser considerado uma força aplicada no ponto médio dela, isto é, a 1 m do pivô.

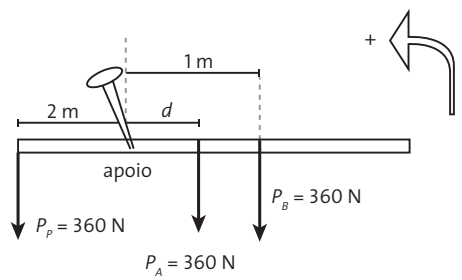


$M_P + M_B = 0 \Rightarrow P_P \cdot d_P - P_B \cdot d_B = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow P_P \cdot 1 - 360 \cdot 1 = 0 \Rightarrow P_P = 360\ \text{N}$

Então, $m_P = 36$ kg.

b) A nova situação de equilíbrio é:



Usando a conservação do momento linear, temos:

$M_P + M_B + M_A = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow P_P \cdot d_P - P_B \cdot d_B - P_A \cdot d_A = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow 360 \cdot 2 - 360 \cdot 1 - 360 \cdot d = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow 720 - 360 - 360 \cdot d = 0 \Rightarrow$

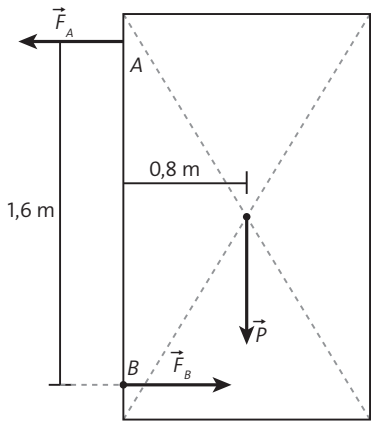
$\Rightarrow 360 - 360 \cdot d = 0 \Rightarrow d = 1\ \text{m}$

3 Cada dobradiça aplica duas forças na porta:

- uma força vertical para cima, que, com a força vertical da outra dobradiça, equilibra o peso da porta;
- uma força horizontal (para a esquerda na dobradiça de cima e para a direita na de baixo), que evita o movimento de rotação da porta no sentido horário.

Assim, a composição das duas forças está corretamente mostrada na alternativa **d**.

4 Se o portão está em equilíbrio, a soma dos momentos das forças, em relação a qualquer ponto do portão, é nula. Assim, com base na figura abaixo, temos, em relação ao ponto *B*:



$\Sigma M_B = 0 \Rightarrow P \cdot 0{,}8 - F_A - 1{,}6 = 0 \Rightarrow F_A = \dfrac{P}{2} = \dfrac{800}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow F_A = 400\ \text{N}$

Com base na figura:

$\Sigma F_{\text{horizontal}} = 0 \Rightarrow F_B - F_A = 0 \Rightarrow F_B = F_A = 400\ \text{N}$

Resposta: alternativa **c**.

5 a) Observe na figura que se trata de uma alavanca **interfixa**, pois o ponto de apoio da alavanca se localiza entre os pontos de aplicação da força dos braços de Pedro e o ponto de aplicação da carga do exercício.

b) Desprezando-se o peso da barra que constitui a alavanca, o módulo da força conjunta (F_P) aplicada pelos braços de Pedro é **menor** do que o módulo da força peso (P_C) conjunta das cargas, pois a distância da linha de ação de F_P ao ponto fixo é maior do que a distância da linha de ação da força P_R ao mesmo ponto fixo.

6 a) Observe na figura que se trata de uma alavanca **inter-resistente**, pois o ponto de aplicação da carga do exercício se localiza entre os pontos de aplicação da força dos braços de Mateus e o ponto de rotação da alavanca.

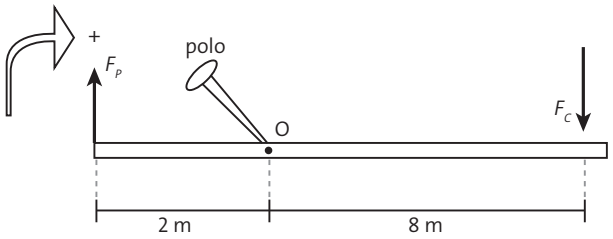
b) Desprezando-se o peso da barra que constitui a alavanca, o módulo da força conjunta (F_P) aplicada pelos braços de Mateus é **menor** do que o módulo da força peso (P_C) conjunta das cargas, pois a distância da linha de ação de F_P ao ponto fixo é maior do que a distância da linha de ação da força P_R ao mesmo ponto fixo.

Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

7 a) O torque de F_C em relação ao ponto O vale:

$M_C = F_C \cdot d_C \Rightarrow M_C = 200 \cdot 0{,}08 \Rightarrow M_C = 16\ \text{N} \cdot \text{m}$

b) O sistema de forças é:

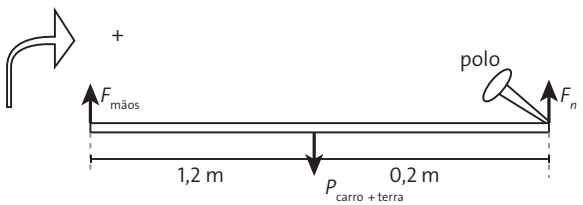


Considerando o ponto O polo e o sentido de rotação horário positivo, vale:

$M_P + M_C = 0 \Rightarrow F_P \cdot d_P - F_C \cdot d_C = 0 \Rightarrow F_P \cdot 2 - 200 \cdot 8 \Rightarrow$

$\Rightarrow F_P = 800\ \text{N}$

8 O sistema de forças no carrinho de pedreiro é:



Considerando o polo na extremidade onde se encontra o pneu do carrinho, podemos escrever:

$M_{mãos} = M_{carro + terra} \Rightarrow$

$\Rightarrow F_{mãos} \cdot d_{mãos} = P_{carro + terra} \cdot d_{carro + terra} \Rightarrow$

$\Rightarrow F_{mãos} \cdot 1{,}4 = 1\,200 \cdot 0{,}2 \Rightarrow F_{mãos} \simeq 171{,}4\ \text{N}.$

Para cada mão, supondo que a força seja igualmente distribuída, teremos $F \simeq 85{,}7$ N.

9 A vantagem mecânica dessa alavanca interpotente é:

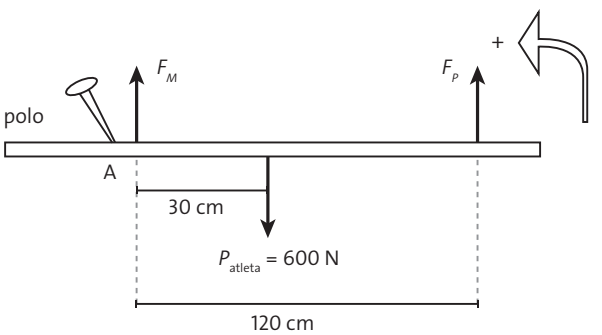
$$\beta = \frac{F_r}{F_p} = \frac{d}{D} \Rightarrow \beta = \frac{0{,}20}{1{,}40} \simeq 0{,}14$$

Como $\beta < 1$, a força potente é maior que a força resistente. O ganho é no deslocamento, com perda de força. Como o trabalho realizado pela força potente é igual ao trabalho realizado pela força resistente, em um mesmo intervalo de tempo, temos:

$F_p \cdot D = F_r \cdot d \Rightarrow v_p \cdot D = v_r \cdot d \Rightarrow \frac{d}{D} = \frac{v_p}{v_r} \Rightarrow$

$\Rightarrow 0{,}14 = \frac{20}{v_r} \Rightarrow v_r \simeq 140\ \text{km/h}$

10 a) O sistema de forças para o atleta pode ser representado por:



Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

Considerando o ponto apoio em A e o sentido de rotação anti-horário positivo, vale:

$M_P + M_{atleta} = 0 \Rightarrow -F_P \cdot d_P + P_{atleta} \cdot d_{atleta} = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow F_P \cdot 120 - 600 \cdot 30 = 0 \Rightarrow F_P = 150\ \text{N}$

Também é válido:

$F_M + F_P = P_{atleta} \Rightarrow F_M + 150 = 600 \Rightarrow F_M = 450\ \text{N}$

b) Deslocando seu centro de massa (onde atua a força peso) para trás, aumentando a vantagem mecânica. Ou seja, aproximando o tronco dos pés, dobrando os joelhos.

c) Como o braço está se abrindo, a ação é do tríceps.

11 I. **Incorreta**. É diretamente proporcional à $\frac{d_3}{d_1}$, pois $F_M \cdot d_1 = F_m \cdot d_3$.

II. **Incorreta**. d_1 para o chimpanzé é maior do que para o homem.

III. **Incorreta**. É igual a cos α.

Retomando

12 01. **Correta**. As duas relações constituem as condições de equilíbrio de um corpo rígido.

02. **Incorreta**. A altura do bloco suspenso pelo guindaste não influencia seu torque em relação aos pilares A, ou B, pois no cálculo do torque usamos o braço da força, que é medido na horizontal.

04. **Correta**. Com o guindaste se deslocando para a esquerda, aproximando-se do ponto B, as forças de reação nos pilares A e C alteram-se. No pilar A, a força aumenta e no pilar C, diminui.

08. **Correta**. Observe que a estrutura metálica está apoiada nos pilares A e C somente, e não no pilar B. Portanto, um novo ponto de sustentação no pilar B não altera as forças de reação nos pilares A e C.

16. Incorreta. Ver explicação 02.

32. Incorreta. Ver explicação 02.

Soma = 13 (01 + 04 + 08)

13 Considerando o polo a mão direita do Garfield e que o sistema está em equilíbrio, a soma dos momentos é nula:

$F \cdot 0{,}2 + (-20) \cdot (0{,}2 + 0{,}5) + (-0{,}4) \cdot (0{,}2 + 0{,}5 + 1{,}8) =$

$= 0 \Rightarrow 0{,}2F = 20 \cdot 0{,}7 + 0{,}4 \cdot 2{,}5 = 15 \Rightarrow F = 75\ \text{N}$

Resposta: alternativa **a**.

14 Em relação ao centro articular do cotovelo, temos que o somatório dos momentos das forças é igual a zero. Assim, escrevemos:

$\Sigma M = 0 \Rightarrow F_m \cdot d_m + P_a \cdot d_a - F_b \cdot d_b = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow F_m \cdot 3 + 40 \cdot 15 - 100 \cdot 30 = 0 \Rightarrow F_m = \frac{3\,000 - 600}{3} \Rightarrow$

$\Rightarrow F_m = 800\ \text{N}.$

15 Entre os itens listados nas alternativas temos a seguinte classificação:

Tesoura: interfixa
Espremedor de alho: inter-resistente
Quebra-nozes: inter-resistente
Alicate: interfixa
Martelo: interfixa
Pinça: interpotente

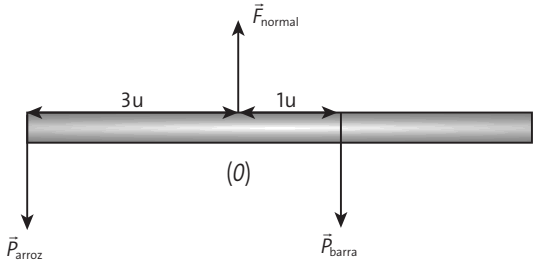
Pegador de gelo: interpotente

Carrinho de mão: inter-resistente

Vassoura: interpotente

Resposta: alternativa **b**.

16 A figura seguinte mostra as forças que atuam na barra, que funciona como uma alavanca:



Como a barra está em equilíbrio, o somatório dos momentos das forças, em relação ao ponto de apoio *O*, é igual a zero. Assim, temos:

$\sum M_o = 0 \Rightarrow P_b \cdot 1 - P_a \cdot 3 = 0 \Rightarrow m_b \cdot g \cdot 1 = m_a \cdot g \cdot 3 \Rightarrow$
$\Rightarrow m_a = 5{,}00 \cdot 3 \Rightarrow m_b = 15{,}00$ kg

Resposta: alternativa **e**.

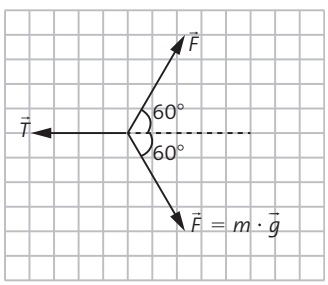
17 No primeiro caso (vara de pescar), o pivô está em um extremo da vara de pescar, a força resistente está no outro extremo da alavanca e a força aplicada pelo operador está entre os dois extremos. Assim, é um tipo de alavanca interpotente.

No segundo caso (martelo), o pivô está entre as extremidades da alavanca, acarretando grande vantagem mecânica. Nesse caso, temos uma alavanca interfixa.

No terceiro caso (carrinho de mão), o pivô está em um dos extremos e a força que o operador faz é menor que o peso que o carrinho transporta. Nesse caso, temos um tipo de alavanca inter-resistente.

Resposta: alternativa **c**.

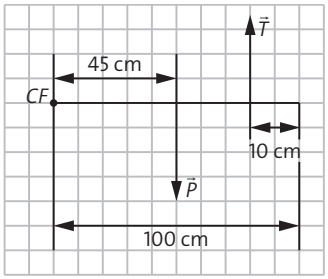
18 a) Conforme mostra a figura seguinte, as três forças possuem o mesmo módulo, pois os ângulos entre elas são iguais a 120°.



Portanto:

$T = F = m \cdot g \Rightarrow T = 7{,}5 \cdot 10 \Rightarrow T = 75$ N

b) Considerando os momentos da força $\vec{T}$ e da força peso $\vec{P}$ da perna em relação à cabeça do fêmur, temos, conforme figura a seguir:



$M_P + M_T = 0 \Rightarrow P \cdot 45 - 75 \cdot 90 = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow P = \frac{6\,750}{45} = 150$ N

Sendo $g = 10$ m/s², a massa da perna é 15 kg.

CAPÍTULO 11 – Fluidos

Com este capítulo, que trata da mecânica dos fluidos – Hidrostática e Hidrodinâmica –, encerramos o Volume 1. Os conceitos desenvolvidos aqui procuram mostrar que esses conhecimentos são essenciais para dimensionar corretamente o desenvolvimento tecnológico atual, das máquinas utilizadas pelo homem na realização de trabalho e do domínio da aerodinâmica.

Como ponto de partida, sugerimos que você proponha algumas questões para uma reflexão inicial com o objetivo de levantar as principais dúvidas dos alunos em relação ao tema:

1. O ferro é mais pesado que o algodão?
2. Qual é a diferença entre força e pressão?
3. Como funciona o elevador de automóveis num posto de combustível?
4. Por que um pedaço de ferro afunda na água e um navio feito de ferro flutua?
5. Qual é o peso de um objeto que flutua na água?
6. Quando reduzimos o diâmetro de um encanamento com água, o que acontece com a velocidade e com a pressão da água?

Sugerimos que os alunos anotem suas respostas e retornem a elas no final do capítulo para corrigi-las, se necessário.

1. Densidade e pressão

O texto inicial visa esclarecer a confusão quando se afirma que o chumbo é mais "pesado" que o algodão. E se tivermos dois corpos: um com 10 g de chumbo e outro com 50 g de algodão? Qual é o mais pesado? A conceituação de densidade esclarece a confusão: o chumbo é mais "denso" que o algodão!

Da mesma forma que a densidade se refere à distribuição de massa, o conceito de pressão se refere à distribuição da força. Sugerimos destacar que, para uma força constante, a redução na área de contato provoca o aumento da pressão e esse é o motivo pelo qual procuramos afiar as ferramentas de corte.

2. Pressão nos fluidos

Física explica

Nesta seção, sugerimos comentar como as pessoas que vivem em cidades localizadas em pontos muito altos, em relação ao nível do mar, conseguem o oxigênio necessário para seu metabolismo. O organismo responde a essa rarefação do ar aumentando a taxa de hemoglobina no sangue, mas isso leva algum tempo. Por essa razão, as escaladas em montanhas muito altas precisam ser feitas

Ilustrações técnicas desta página: Banco de imagens/Arquivo da editora

lentamente. Também por essa razão, competições esportivas em cidades muito altas favorecem os competidores locais, já habituados ao ar rarefeito.

A pressão exercida pela água em nossas orelhas, por exemplo, depende da quantidade de água? Esse é o ponto de partida para o entendimento de como a pressão varia dentro de um fluido: a lei de Stevin.

É interessante, sob o aspecto histórico, cultural e arquitetônico citar a influência do cientista e engenheiro holandês Simon Stevin no Brasil, nas invasões holandesas (1624-1625 e 1630-1654). Seus manuais nortearam a construção de canais, drenagem para portos, construção de fortes e planejamento urbano, principalmente em Olinda e no Recife.

Por que seria um engenheiro holandês o mentor de uma lei (na verdade um teorema) tão importante na Hidrostática? A resposta está na necessidade holandesa de construir diques de contenção, pelo fato de o país ser tão baixo. O texto seguinte pode nos dar uma ideia.

> Se existe um lugar onde o homem e a natureza medem forças há séculos, esse lugar é a Holanda. Castigado por inundações provocadas pelo mar e por rios, o país, batizado oficialmente de Países Baixos, faz jus ao nome que tem: o ponto culminante espicha-se a apenas 321 metros de altitude e um quarto do território está abaixo do nível do mar. Tão abaixo que, ao aterrissar no aeroporto de Schiphol, em Amsterdã, o passageiro desembarca a 4,5 metros abaixo do nível do mar.
>
> Disponível em: <http://klickeducacao.com.br/materia/print/0,5920,POR-16-53-1317-,00.html>. Acesso em: set. 2015.

Para refletir

Pontos na mesma horizontal em um líquido em repouso apresentam a mesma pressão, pois esta varia com a profundidade. Assim, os pontos 2 e *M* apresentam a mesma pressão. Nessas condições, a lei de Stevin é válida para os pontos 1 e 2 que não estão na mesma vertical.

3. Medidores de pressão

Qual é a diferença entre um manômetro e um barômetro? Na calibração dos pneus de um carro, em um posto de combustível, usamos um manômetro ou um barômetro? E quando medimos a pressão arterial?

Além desses pontos, o tópico visa esclarecer a questão proposta no início do capítulo sobre a cidade de Veneza.

Física tem História

Nesta seção, com o texto "Horror ao vácuo", procuramos desenvolver no aluno a habilidade de compreender a construção do conhecimento físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de determinada época.

Para que os alunos respondam às duas questões propostas no texto, sugerimos que você comente sobre a utilização de água no lugar de mercúrio para a determinação da pressão atmosférica.

4. Vasos comunicantes e prensas hidráulicas

Como ponto de partida, sugerimos que você comente sobre a rede de distribuição de água nas cidades, com tubulação subterrânea: só é possível por causa dos vasos comunicantes. Outro ponto de interesse é a mangueira transparente utilizada na construção civil para garantir o nivelamento de pisos. Como elas funcionam?

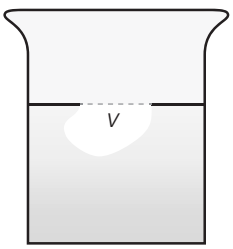
Com a prensa hidráulica – uma máquina simples – procuramos mostrar como o desenvolvimento tecnológico auxilia as pessoas na realização de tarefas. Com ela, explicamos o funcionamento interno de um elevador de automóveis e os freios de um automóvel?

Para refletir

Observe que, quando a água começa a escoar pelo bico, o nível da água no regador é o mesmo que no bico. Portanto, para se transportar mais água no regador é preciso elevar o bico. Se o bico ficar acima da altura do regador, este pode ficar totalmente cheio de água.

5. Princípio de Arquimedes

Sugerimos que você reproduza com os alunos o raciocínio de Arquimedes. Comece desenhando um recipiente com líquido em equilíbrio. Agora, imagine uma porção de líquido que vai ser mentalmente retirada, conforme mostra figura seguinte.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Porção de um líquido em equilíbrio, de volume *V*, que foi mentalmente retirada do líquido.

Como seriam as forças que o líquido ao redor da porção mentalmente retirada aplicaria nela? Como a porção *V* estava em equilíbrio, logo, o somatório das forças que o fluido em volta aplicava nela deve ter a mesma intensidade que seu peso, mas é aplicada em sentido contrário, impondo o equilíbrio. Se na região de volume *V*, em vez de líquido tivermos outro corpo qualquer, da mesma forma, ela ficará sujeita à mesma força. Se a porção de volume *V* estiver totalmente submersa, o raciocínio permanece o mesmo.

O raciocínio permite também descobrir em que ponto está aplicada a resultante das forças que o líquido ao redor aplica no corpo submerso: no centro de massa do volume de líquido deslocado, pois ele estaria em equilíbrio. A beleza dessa conclusão de Arquimedes é que ele não utiliza uma conta sequer para chegar até ela. É uma mostra de quão longe pode ir o raciocínio puro.

Um ponto que deve ser destacado é que a intensidade do empuxo não depende da densidade do corpo, mas sim do líquido em que ele é mergulhado. Ao discutir o peso aparente, sugerimos comentar que, ao pesar o corpo no ar, o empuxo que o ar exerce sobre ele é desprezível somente se o corpo for muito mais denso que o ar. Ou seja, na verdade, o peso aparente deveria comparar o peso do corpo no vácuo com o peso do corpo submerso. Mais tarde, depois de discutir flutuação e empuxo em balões, o tema pode ser retomado.

Física explica

Nesta seção, procuramos articular, integrar e sistematizar fenômenos e teorias dentro das várias Ciências da Natureza. Assim,

o texto "A bexiga natatória e o submarino" deve ser compartilhado com o professor de Biologia.

É preciso ressaltar a importância da Física na Biologia e a importância da interdisciplinaridade. Não é possível estudar corretamente a flutuação de um peixe sem os conceitos de Hidrostática.

As duas questões propostas exigem habilidades de leitura e interpretação do texto. As possíveis respostas são:

1. Devido à súbita redução da pressão externa.
2. Retirar gás.

6. Hidrodinâmica

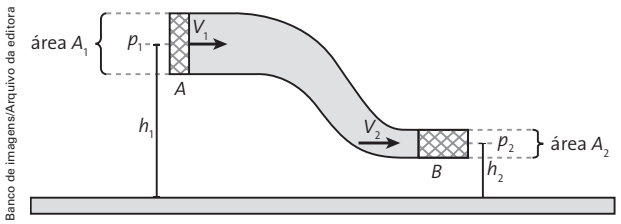
O estudo da Hidrodinâmica, que apresentamos neste capítulo, está alicerçado em duas equações básicas: a equação da continuidade e a equação de Bernoulli. Optamos por não apresentar, no livro, a dedução da equação de Bernoulli por envolver desenvolvimentos matemáticos que julgamos desnecessários para atingir os objetivos propostos:

- Identificar a conservação de energia no transporte de fluidos.
- Aplicar a conservação de energia em fluidos ideais para explicar os fenômenos de transporte em encanamentos com diferentes seções transversais e na determinação de velocidades de aeronaves.
- Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

Inicialmente, sugerimos que você comente a importância da hidrodinâmica no cotidiano, como no dimensionamento dos encanamentos domésticos, na explicação do sistema circulatório do sangue nas veias e artérias do corpo dos animais e nas medidas de velocidades de aeronaves.

Se você julgar necessário e dispuser de tempo, apresentamos a dedução da equação de Bernoulli. Escolhemos encaminhar o assunto em termos de energia mecânica.

Considere um fluido ideal (não viscoso) e incompressível (densidade constante) escoando por uma tubulação, conforme a figura abaixo.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Na região *A*, de entrada do fluido, ele tem velocidade v_1, pressão p_1 e altura h_1; e, na região *B*, de saída do fluido, velocidade v_2, pressão p_2 e altura h_2.

Vamos considerar um pequeno elemento de volume ΔV do fluido com massa Δm, sendo transferido desde a entrada (*A*) até a saída (*B*). Para a aplicação do teorema da energia cinética – o trabalho resultante é igual à variação de energia cinética –, devemos considerar que duas forças realizam trabalho sobre o nosso elemento.

Devido à pressão *p* do fluido, o elemento de volume é empurrado por uma força $\vec{F}$ num deslocamento *d*.

Sendo $A = pA_{tubo}$ e θ o ângulo entre a força e o deslocamento, o trabalho é dado por:

$\tau = F \cdot d \cdot \cos\theta \Rightarrow \tau = \pm p \cdot A_{tubo} \cdot d \Rightarrow \tau = \pm p \cdot \Delta V$

Em *A* o trabalho é positivo, mas em *B* é negativo. Assim temos:

$\tau = (p_1 - p_2) \cdot \Delta V$ (I)

Durante a transferência do elemento de massa *A* para *B*, a força gravitacional realiza trabalho, dado por:

$\tau = (\Delta m) \cdot g \cdot (\Delta h) = (\Delta m) \cdot g \cdot (h_1 - h_2)$

Lembrando que $\Delta m = \mu \cdot \Delta V$ e substituindo esta na expressão anterior, temos:

$\tau = \mu \cdot (\Delta V) \cdot g \cdot (h_1 - h_2)$ (II)

Por sua vez, a variação de energia cinética é dada por:

$$\Delta E_c = \frac{(\Delta m) \cdot v_2^2}{2} - \frac{(\Delta m) \cdot v_1^2}{2} \Rightarrow \Delta E_c = \frac{\mu \cdot \Delta v}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2) \text{ (III)}$$

Substituindo as expressões (I), (II) e (III) no teorema da energia cinética, obtemos:

$$(p_1 - p_2) \cdot \Delta V + \mu \cdot (\Delta V) \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = \frac{\mu \cdot \Delta v}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

Simplificando essa expressão e colocando os termos com índice 1 do lado esquerdo e os termos com índice 2 do lado direito da igualdade, temos:

$$p_1 + \mu g h_1 + \frac{\mu v_1^2}{2} = p_2 + \mu g h_2 + \frac{\mu v_2^2}{2}$$

Física explica

Nesta seção, nosso objetivo é apresentar um possível caminho para os alunos desenvolverem a habilidade, diante de uma situação-problema, de reconhecer a natureza dos fenômenos envolvidos e identificar as grandezas relevantes para a solução.

Assim, sugerimos que os alunos demonstrem a equação para o cálculo da velocidade de uma aeronave, com base no texto sobre o tubo de Pitot, a partir das equações da continuidade e de Bernoulli.

Experimento

Nesta atividade experimental, sugerimos que cada equipe apresente um relatório escrito e que uma das equipes faça uma apresentação oral. Desse modo, as equipes podem discutir as respostas às questões propostas.

Alguns comentários sobre as questões propostas:

1. Dentro das margens de erros aceitáveis, os resultados obtidos devem ser iguais.
2. Devido ao empuxo. O peso aparente é dado por: $P_{ap} = P_{real} - E$. Portanto: $P_{ap} < P_{real}$.
3. O bloco iria flutuar. O peso aparente seria nulo e o peso real continuaria o mesmo.
4. Peso real: igual. Peso aparente: maior. Empuxo: menor. Volume do bloco: igual. Volume do óleo deslocado: igual.

Em construção

Nesta seção, como citado no Livro do Aluno, inicialmente demos destaque à família Bernoulli por ser mundialmente conhecida, devido ao fato de ter dado ao mundo notáveis cientistas.

Particularmente em relação à Hidrodinâmica, o nome de destaque é o matemático suíço Daniel Bernoulli. Sugerimos que o(a) professor(a) explane a importância do trabalho de Bernoulli na discussão de bombas e outras máquinas para elevação de água e ainda a aplicação na Medicina, uma vez que o coração é uma máquina de bombear fluido.

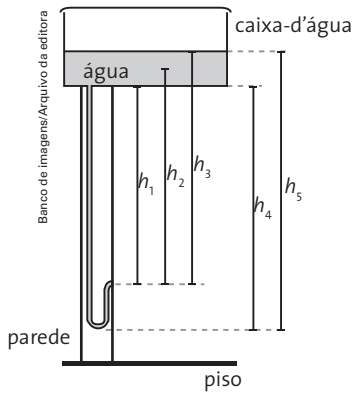
Aproveite para mais uma vez apontar que, a despeito da originalidade dos trabalhos desse cientista, eles não foram trabalhos isolados na comunidade científica e do processo histórico, pois Bernoulli obteve sua equação considerando um fluido ideal aplicando as leis de Newton, elaboradas cerca de setenta anos antes.

Trabalho em equipe

Este é o momento que julgamos importante: a discussão da ética, tanto na Ciência como na vida em geral, para que os alunos possam reconhecer e avaliar o caráter ético do conhecimento científico e tecnológico e utilizar esses conhecimentos no exercício da cidadania.

Atividades complementares

1. (Enem) O manual que acompanha uma ducha higiênica informa que a pressão mínima da água para o seu funcionamento apropriado é de 20 kPa. A figura mostra a instalação hidráulica com a caixa-d'água e o cano ao qual deve ser conectada a ducha.



Banco de imagens/Arquivo da editora

O valor da pressão da água na ducha está associado à altura

a) h_1.
b) h_2.
c) h_3.
d) h_4.
e) h_5.

Resolução:

Como a pressão deve ser medida entre a superfície da água na caixa e o ponto de saída da água, de acordo com a lei de Stevin, temos:

$\Delta p = d \cdot g \cdot h_3$

Portanto, o valor da pressão na ducha está associado à altura h_3.

Resposta: alternativa **c**.

2. (UFU-MG) A construção de grandes embarcações influenciou profundamente a história da humanidade, uma vez que, a partir delas, o homem pôde se lançar nos oceanos, ampliando sua própria visão a respeito da geografia mundial. Para tal, foi necessário o emprego de princípios fundamentais da flutuação dos corpos na fabricação de tais artefatos. Imagine que, para a construção de uma antiga caravela, fossem empregados 12 800 kg de madeira, os quais, após acrescidos os equipamentos de bordo e a tripulação, fizessem com que a embarcação atingisse massa total de 14 400 kg. Considere que a densidade da água doce é de 1,0 g/cm³ e a da água salgada é de 1,2 g/cm³.

A partir desses dados, assinale a alternativa correta.

a) Essa caravela só flutuará se o volume de água doce que seu casco deslocar for de, no mínimo, 12 000 litros.
b) Essa caravela só flutuará se o volume de água salgada que seu casco deslocar for de, no mínimo, 12 000 litros.
c) Essa caravela flutuará mais facilmente quando colocada em água doce, pois seu casco deslocará um volume de água menor se comparado a quando ela é colocada em água salgada.
d) Se toda a madeira usada na caravela for compactada em um cubo maciço de 2 m de aresta, pode-se dizer que tal cubo flutuará quando colocado na água salgada.

Resolução:

O peso da embarcação é dado por:

$P = m \cdot g \Rightarrow P = 14\,400 \cdot g$

a) Incorreta. O volume deslocado de água doce é:

$E = P \Rightarrow d \cdot g \cdot V = P \Rightarrow 10^3 \cdot g \cdot V = 14\,400 \cdot g \Rightarrow$

$\Rightarrow V = 14{,}4\ \text{m}^3 = 14\,400\ \text{L}$

b) **Correta**. O volume deslocado de água salgada é:

$E = P \Rightarrow d \cdot g \cdot V = P \Rightarrow 1{,}2 \cdot 10^3 \cdot g \cdot V = 14\,400 \cdot g \Rightarrow$

$\Rightarrow V = 12\ \text{m}^3 = 12\,000\ \text{L}$

c) Incorreta. Ver cálculos acima.

d) Incorreta.

$d = \dfrac{m}{v} = \dfrac{12\,800}{2 \cdot 2 \cdot 2} \Rightarrow d = 1{,}6 \cdot 10^3\ \text{kg/m}^2$

O cubo afundará na água salgada, pois sua densidade é maior do que a da água salgada.

3. (Enem) Um consumidor desconfia que a balança do supermercado não está aferindo corretamente a massa dos produtos. Ao chegar em casa resolve conferir se a balança estava descalibrada. Para isso, utiliza um recipiente provido de escala volumétrica contendo 1,0 litro de água. Ele coloca uma porção dos legumes que comprou dentro do recipiente e observa que a água atinge a marca de 1,5 litro e também que a porção não ficara totalmente submersa, com $\frac{1}{3}$ de seu volume fora da água. Para concluir o teste, o consumidor, com ajuda da internet, verifica que a densidade dos legumes, em questão, é a metade da densidade da água, onde $\rho_{\text{água}} = 1\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. No supermercado a balança registrou a massa da porção de legumes igual a 0,500 kg (meio quilograma).

Considerando que o método adotado tenha boa precisão, o consumidor concluiu que a balança estava descalibrada e deveria ter registrado a massa da porção de legumes igual a:

a) 0,073 kg.
b) 0,167 kg.
c) 0,250 kg.
d) 0,375 kg.
e) 0,750 kg.

Resolução:

Como o volume deslocado de água foi de 0,5 L (1,5 − 1,0), podemos afirmar que $\frac{2}{3}$ do volume do legume é igual a 0,5 L. Assim, temos:

$V_{\text{imerso}} = \dfrac{2}{3} \cdot V_{\text{legume}} \Rightarrow 0{,}5 = \dfrac{2}{3} \cdot V_{\text{legume}} \Rightarrow V_{\text{legume}} = 0{,}75\ \text{L}$

Sendo a densidade do legume igual à metade da densidade da água, a massa da porção de legume é:

$m = d \cdot V \Rightarrow m = 0{,}5 \cdot 1 \cdot 0{,}75 \Rightarrow m = 0{,}375\ \text{g} \cdot \text{L}/\text{cm}^3$

Sendo $1\ \text{g} = 10^{-3}$ kg e $1\ \text{L} = 10^3\ \text{cm}^2$, temos $m = 0{,}375$ kg.

Resposta: alternativa **d**.

4. (Enem) Durante uma obra em um clube, um grupo de trabalhadores teve de remover uma escultura de ferro maciço colocada no fundo de uma piscina vazia. Cinco trabalhadores

amarraram cordas à escultura e tentaram puxá-la para cima, sem sucesso.

Se a piscina for preenchida com água, ficará mais fácil para os trabalhadores removerem a escultura, pois a:

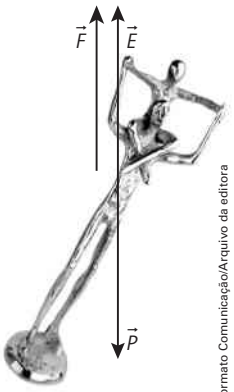
a) escultura flutuará. Dessa forma, os homens não precisarão fazer força para remover a escultura do fundo.

b) escultura ficará com peso menor. Dessa forma, a intensidade da força necessária para elevar a escultura será menor.

c) água exercerá uma força na escultura proporcional a sua massa, e para cima. Esta força se somará à força que os trabalhadores fazem para anular a ação da força peso da escultura.

d) água exercerá uma força na escultura para baixo, e esta passará a receber uma força ascendente do piso da piscina. Esta força ajudará a anular a ação da força peso na escultura.

e) água exercerá uma força na escultura proporcional ao seu volume, e para cima. Esta força se somará à força que os trabalhadores fazem, podendo resultar em uma força ascendente maior que o peso da escultura.



Formato Comunicação/Arquivo da editora

Resolução:

De acordo com o diagrama de forças na escultura, temos: $E + F = P$.

E o empuxo da água sobre a escultura é dado por:

$E = d_a \cdot g \cdot V_{esc}$.

Resposta: alternativa **e**.

Resoluções dos exercícios

1 De acordo com as normas vigentes, a densidade do álcool (96% de álcool puro e 4% de água, em volume) é:

$$\mu = \frac{m_{ap} + m_{água}}{v_{ap} + v_{água}} = \frac{d_{ap} \cdot v_{ap} + d_{água} \cdot v_{água}}{v_{ap} + v_{água}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{800 \cdot 0{,}96v + 1000 \cdot 0{,}04v}{0{,}96v + 0{,}04v} \Rightarrow d = 808 \text{ g/L}$$

O álcool dos postos I, II e III tem densidade acima de 808 g/L. Portanto, apresentam mais água do que o permitido. Já o álcool dos postos IV e V tem densidade igual e menor que 808 g/L, estando de acordo com as especificações.

Resposta: alternativa **e**.

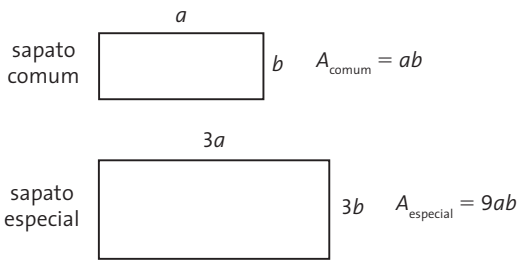
2 Para prevenir o problema da compactação do solo, uma das formas possíveis é substituir os pneus dos tratores por pneus mais largos. Com isso, aumenta a área de contato do pneu com o solo, e como o peso do trator é constante, a pressão sobre o solo é reduzida, pois $p = \frac{F}{A}$.

Resposta: alternativa **a**.

3 O pneu estepe deverá suportar a mesma parcela do peso que o pneu normal suporta. Como $p = \frac{F}{A}$ e a área de contato do pneu estepe com o solo diminui, aumenta a pressão.

Resposta: alternativa **c**.

4 a) Para figuras planas geometricamente semelhantes, se a proporção entre as dimensões lineares for k, a proporção entre as áreas será k^2. Para exemplificar, vamos supor um sapato de sola retangular.

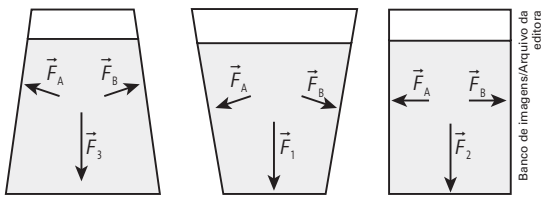


$$\frac{A_{especial}}{A_{comum}} = \frac{9ab}{ab} = 9$$

b) Não, pois continua tendo a intensidade do próprio peso da pessoa.

5 O formato trapezoidal se adequa melhor ao represamento devido ao aumento da pressão da água com a profundidade. Isso significa dizer que o módulo da força que a água exerce por unidade de área aumenta com a profundidade da água.

6 A aparente contradição se desfaz quando se consideram as direções das forças aplicadas sobre as paredes laterais dos recipientes: a força que o líquido aplica nessas paredes é perpendicular a elas, conforme mostram as figuras.



Banco de imagens/Arquivo da editora

Quando as paredes são verticais (caso da terceira figura), a resultante dessas forças ($\vec{F}_A$ e $\vec{F}_B$) é nula; portanto, a força $\vec{F}_2$ tem a mesma intensidade que o peso do líquido. Já nos outros dois recipientes, o peso do líquido corresponde à soma das forças $\vec{F}_1$ ou $\vec{F}_3$ com $\vec{F}_A$ e $\vec{F}_B$, que resulta numa força vertical de mesma intensidade que $\vec{F}_2$.

7 a) A altura h a que o coração consegue elevar o sangue é dada por:

$$p = \mu g h \Rightarrow \frac{120}{760} \cdot 10^5 = 10^3 \cdot 10 \cdot h \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0{,}158 \cdot 10^5 = 10^4 \cdot h \Rightarrow h = 1{,}58 \text{ m}$$

b) Não, pois a pressão não é suficiente para elevar o sangue até tal altura.

8 Sendo $\Delta p = \frac{1}{20}$ atm e 1 atm $= 10^5$ N/m^2, temos:

$$\Delta p = \frac{1}{20} \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \Rightarrow \Delta p = 5 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$$

Nessas condições, a profundidade h vale:

$$\Delta p = \mu g h \Rightarrow 5{,}0 \cdot 10^3 = 10^3 \cdot 10 \cdot h \Rightarrow h = 0{,}5 \text{ m} = 50 \text{ cm}$$

9 a) Como a pressão do ar equilibra a pressão de uma coluna de 1,0 m de água, temos:

$\Delta p_{ar} = \Delta p_{água} \Rightarrow \Delta p_{ar} = d \cdot g \cdot h = 10^3 \cdot 10 \cdot 1 \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta p_{ar} = 10^4 \frac{N}{m^2} = 0{,}1 \text{ atm}$

b) Para subir 10 cm no ramo direito, o líquido deverá baixar 10 cm no ramo esquerdo, o que acarretará um desnível de 20 cm a mais.

$\Delta p = d \cdot h \cdot g \Rightarrow \Delta p = 10^3 \cdot 10 \cdot 0{,}2 \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta p = 2 \cdot 10^3 \frac{N}{m^2} = 0{,}02 \text{ atm}$

10 a) Na superfície livre dos líquidos, a pressão é a mesma em todos eles e igual à pressão atmosférica no local dos manômetros.

b) A pressão manométrica do gás contido em cada reservatório é igual à pressão da coluna de líquido acima dele. Assim:

$p_{man.} = \mu \cdot g \cdot h$.

Observe que a pressão não depende da área transversal do tubo cilíndrico. Como g e h são iguais para os três tubos, a $p_{man.}$ é diretamente proporcional à massa específica do líquido. Assim, temos:

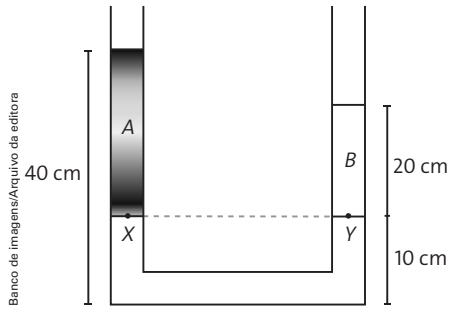
$p_1 > p_2 > p_3$.

11 A pressão efetiva, acima da atmosfera, é dada por:

$\Delta p = d \cdot g \cdot h \Rightarrow \Delta p = 10^3 \cdot 10 \cdot 2 \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta p = 2 \cdot 10^4 \frac{N}{m^2} = 0{,}2 \text{ atm}$

12 a) Os pontos X e Y do tubo em U estão dentro do mesmo líquido, comunicante e na mesma altura. Portanto, eles apresentam a mesma pressão.



Banco de imagens/Arquivo da editora

$P_X = P_Y \Rightarrow m_A \cdot g \cdot h_A = m_B \cdot g \cdot h_B \Rightarrow \frac{\mu_B}{\mu_A} = \frac{h_A}{h_B} \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{\mu_B}{\mu_A} = \frac{30}{20} = 1{,}5$

b) $\frac{\mu_B}{\mu_A} = 1{,}5 \Rightarrow \frac{\mu_B}{\mu_{água}} = 1{,}5 \Rightarrow \frac{\mu_B}{1} = 1{,}5 \Rightarrow \mu_B = 1{,}5 \frac{g}{cm^3}$

13 Com base na equação da prensa hidráulica, temos:

$\frac{F}{A_{tub}} = \frac{P_{total}}{A_{pistão}} \Rightarrow \frac{F}{A} = \frac{(65 + 15 + 20) \cdot 10}{5 \cdot A} \Rightarrow F = 200 \text{ N}$

Resposta: alternativa **c**.

14 a) As pressões nos pontos B e D são iguais, pois estão na mesma horizontal e no mesmo líquido. De acordo com a figura, as pressões nos pontos B e D são maiores que a pressão atmosférica.

b) Se a pessoa retira o dedo do ponto B, o líquido escoa através do tubo.

c) A pressão exercida pela coluna líquida de altura h não pode ser maior que a atmosférica. Caso contrário, a atmosfera não consegue empurrar o líquido tubo adentro. Essa altura máxima vai depender da densidade do líquido utilizado e da aceleração da gravidade. Se esse líquido for a água, o valor máximo de h será 10 m.

15 Para baixar o automóvel, deve-se abrir a válvula situada na parte inferior da figura, permitindo o retorno do óleo.

16 Com a rocha imersa no ar, o dinamômetro indica o peso real da rocha: 6,3 N. Com a rocha imersa na água, o dinamômetro indica o peso aparente da rocha: 4,8 N. A diferença entre esses valores é o empuxo da água na rocha:

$E = P_{real} - P_{aparente} \Rightarrow E = 6{,}3 - 4{,}8 \Rightarrow E = 1{,}5 \text{ N}$

Sendo $E = d_a \cdot g \cdot V_{rocha}$, temos:

$1{,}5 = 1 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot V_{rocha} \Rightarrow V_{rocha} = 1{,}5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$

E a densidade da rocha vale:

$d = \frac{m}{V} \Rightarrow d = 0{,}63 : 1{,}5 \cdot 10^{-4} \Rightarrow$

$\Rightarrow d = 4\,200 \text{ kg/m}^3 = 4{,}2 \text{ g/cm}^3$

Resposta: alternativa **d**.

17 Com a prancha flutuando com a face superior tangente à superfície da água, escrevemos:

$E_{água} = P_{prancha} + P_{pessoa} \Rightarrow$

$\Rightarrow d_a \cdot g \cdot V_{pr} = d_{pr} \cdot g \cdot V_{pr} + m_p \cdot g \Rightarrow$

$\Rightarrow 10^3 \cdot 2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}15 = 6 \cdot 10^2 \cdot 2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}15 = m_p \Rightarrow$

$\Rightarrow m_p = 150 - 90 \Rightarrow m_p = 60 \text{ kg}$

18 a) Como o nível de água baixa a velocidade constante, o intervalo de tempo para baixar 0,5 m é:

$V_M = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow \frac{1 \text{ cm}}{1 \text{ min}} = \frac{50}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 500 \text{ min}$

b) Sendo a vazão (Q_1) na caixa igual à do vazamento (Q_2), temos:

$Q_1 = Q_2 \Rightarrow 10\,000 A_2 \cdot \frac{1}{10} = A_2 \cdot v_2 \Rightarrow$

$\Rightarrow v_2 = 1000 \frac{cm}{min} \Rightarrow v_2 = 10 \frac{m}{min}$

19 a) Na vazão constante vale $Q = v \cdot A$ = constante. Caso ocorra redução da área A, haverá um aumento na velocidade do escoamento.

b) Aplicando a equação da continuidade:

$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \Rightarrow v \cdot 40 = v_2 \cdot 10 \Rightarrow v_2 = 4v$

c) A partir da equação de Bernoulli, temos:

$p_1 + \mu \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \mu \frac{v_2^2}{2}$, ou seja, $\Delta p + \mu \frac{v^2}{2} = \mu \frac{(4v)^2}{2}$

Fazendo-se as substituições, vamos obter:

$300 + 10^3 \frac{v^2}{2} = 10^3 \frac{16v^2}{2} \Rightarrow 0{,}6 + v^2 = 16v^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow 15v^2 = 0{,}6 \Rightarrow v = 0{,}2 \text{ m/s}$

Como a vazão é $Q = vA$, obtemos:

$Q = 0{,}2 \cdot 40 \cdot 10^{-4} \Rightarrow$

$\Rightarrow Q = 8 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$ ou $Q = 0{,}8 \frac{L}{s}$

20 a) Pela lei de Stevin, $p_1 - p_2 = d_M \cdot g \cdot h$, a diferença de pressão é dada por:

$\Delta p = 13{,}6 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 0{,}05 \Rightarrow \Delta p = 6\,800\ \text{N/m}^2$

b) No ponto 2 a velocidade é nula. Aplicando-se a equação de Bernoulli, temos:

$\mu_{ar} \frac{v^2}{2} = \Delta p \Rightarrow 1{,}36 \cdot \frac{v^2}{2} = 6\,800 \Rightarrow$

$\Rightarrow v = 100\ \text{m/s}$

21 De acordo com a equação de Bernoulli, temos:

$H = p + \mu \cdot g \cdot h + \frac{\mu v^2}{2}$

Aplicando essa equação no ponto 1 (ponto mais baixo do escoamento), e no ponto 2 (mais alto do escoamento) e efetuando a diferença, obtemos:

$\Delta H = H_2 - H_1 \Rightarrow \Delta H = p_2 + \mu \cdot g \cdot h_2 + \frac{\mu {v_2}^2}{2} -$

$- (p_1 + \mu \cdot g \cdot h_1 + p_1 + \mu \cdot g \cdot h_1 + \frac{\mu {v_1}^2}{2})$

De acordo com os dados: $p_1 = p_2$ e $v_1 = v_2$. Portanto, a expressão acima pode ser escrita como:

$\Delta H = \mu \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \Rightarrow \Delta H = 1000 \cdot 10 \cdot 50 \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta H = 5{,}0 \cdot 10^5\ \text{J/m}^3$

22 De acordo com o texto, a potência mínima da bomba instalada é dada por:

$P = Q \cdot \Delta H$

Sendo $Q = 2\ \text{L/s} = 2 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3\text{/s}$ e $\Delta H = 5 \cdot 10^5\ \text{J/m}^3$, temos:

$P = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^5 \Rightarrow P = 10^3 = 1000\ \text{W}$

Retomando

23 A densidade das ligas (estanho-chumbo) é dada por:

$d_{liga} = \frac{Ps_n \cdot ds_n + P_{pB} \cdot d_{pB}}{100}$

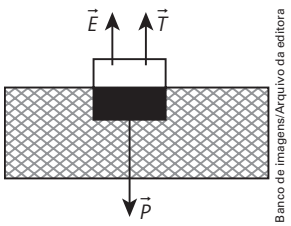
Nessa expressão, p é a porcentagem de cada substância.

Aplicando a expressão acima para cada uma das amostras, temos: $d_I = 8{,}9\ \text{g/mL}$; $d_{II} = 8{,}82\ \text{g/mL}$; $d_{III} = 7{,}5\ \text{g/mL}$; $d_{IV} = 8{,}78\ \text{g/mL}$ e $d_V = 8{,}94\ \text{g/mL}$.

Portanto, somente as amostras II e IV atendem às normas internacionais.

Resposta: alternativa **c**.

24 A figura ilustra o diagrama de forças no cubo:



Banco de imagens/Arquivo da editora

Nas condições de equilíbrio, temos:

$E + T = P \Rightarrow d_a \cdot g \cdot V_i + T = m \cdot g \Rightarrow$

$\Rightarrow d_a \cdot 10 \cdot \frac{(0{,}1)^3}{2} + 24 = 3 \cdot 10 \Rightarrow d_a = \frac{6}{5 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow$

$\Rightarrow d_a = 1{,}2 \cdot 10^3\ \text{kg/m}^3 = 1{,}2\ \text{g/cm}^3$

Resposta: alternativa **b**.

25 a) Incorreta. Se a densidade da bola escura for igual à densidade do álcool, não será possível notar a adulteração.

b) Incorreta. Como as densidades das bolinhas são diferentes, elas deverão ocupar posições diferentes na coluna de líquido, mesmo que o líquido seja adulterado.

c) Incorreta. Se as bolinhas tiverem a mesma densidade, elas deveriam ocupar as mesmas posições nas três amostras.

d) **Correta**. Como as bolinhas têm densidades diferentes, elas ocupam posições diferentes dentro do líquido.

e) Incorreta. Para medir densidades abaixo de um mínimo e acima de um máximo são necessárias duas bolinhas.

Compreendendo o mundo

1 Trata-se de uma questão de leitura e interpretação de texto. Portanto, as respostas encontram-se no próprio texto.

2 Sendo a pressão manométrica dada por $p_{man.} = \mu \cdot g \cdot h$, temos:

- Sístole: $p_{man.} = 13{,}6 \cdot 10^3 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}120 \Rightarrow$
  $\Rightarrow p_{man.} = 1{,}6 \cdot 10^4\ \text{N/m}^2$
- Diástole: $p_{man.} = 13{,}6 \cdot 10^3 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}080 \Rightarrow$
  $\Rightarrow p_{man.} = 1{,}1 \cdot 10^4\ \text{N/m}^2$

3 A vazão é dada pelo produto da velocidade pela área: $Q = v \cdot A = v \cdot \pi \cdot R^2$. Assim, obtemos, em $\text{mm}^3\text{/s}$:

a) $Q = 300\ \text{mm/s} \cdot 3{,}14 \cdot (10\ \text{mm})^2 \Rightarrow Q = 9{,}4 \cdot 10^4\ \text{mm}^3\text{/s}$

E em L/min:

$Q = 9{,}4 \cdot 10^4\ \text{mm}^3\text{/s} = \frac{9{,}4 \cdot 10^4 \cdot 10^{-6}\ \text{L}}{\frac{1}{60}\ \text{min}} \Rightarrow Q = 5{,}6\ \text{L/min}$

b) $Q = 5 \cdot 10^{-4}\ \text{m/s} \cdot 3{,}14 \cdot (4 \cdot 10^{-6}\ \text{m})^2 \Rightarrow Q = 2{,}5 \cdot 10^{-14}\ \text{m}^3\text{/s}$

Em L/min:

$Q = 2{,}5 \cdot 10^{-14}\ \text{m}^3\text{/s} = \frac{2{,}5 \cdot 10^{-14} \cdot 10^3\ \text{L}}{\frac{1}{60}\ \text{min}} \Rightarrow$

$\Rightarrow Q = 1{,}5 \cdot 10^{-9}\ \text{L/min}$

4 Sendo a vazão na aorta igual à vazão nos capilares, temos:

$Q_{aorta} = Q_{capilares} \Rightarrow 5{,}6 = n \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-9} \Rightarrow n = 3{,}7 \cdot 10^9$ capilares

5 Resposta pessoal.

6 De acordo com os dados, a potência é dada pelo produto da vazão pela variação de energia por unidade de volume associada ao escoamento. Utilizando os resultados obtidos nas questões 2 e 3, temos:

$P = Q \cdot \frac{\Delta E}{\Delta V} = Q \cdot \Delta p \Rightarrow$

$\Rightarrow P = 5{,}6\ \text{L/min} \cdot (1{,}6 - 1{,}1) \cdot 10^4\ \text{N/m}^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow P = \frac{5{,}6 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3}{60\ \text{s}} \cdot (1{,}6 - 1{,}1) \cdot 10^4\ \text{N/m}^2 = 0{,}47\ \text{N} \cdot \text{m/s} \Rightarrow$

$\Rightarrow P = 0{,}47\ \text{W}$

7 Ao realizar uma atividade física mais intensa, a potência do coração aumenta devido ao aumento da vazão de sangue e do aumento da pressão.

8 Resposta pessoal.

ISBN 978-85086179503