Alberto Felisberto Cupane

F9

Física 9.ª Classe



Texto Editores

Pelo ADOPTADO MINEDH

Digitalizado com CamScanner

ficha técnica

título	**F9 · Física 9.ª Classe**
autor	**Alberto Felisberto Cupane**
revisor científico	**João Paulo de Menezes**
coordenação	**Stella Morgadinho**
editor	**Texto Editores, Lda. – Moçambique**
capa e aberturas	**Dércio Simango**
ilustrações	**Texto Editores, Lda. – Moçambique**
arranjo gráfico	**Darlene Mavale e Dércio Simango**
paginação	**Texto Editores, Lda. – Moçambique**
pré-impressão	**Texto Editores, Lda. – Moçambique**
impressão e acabamentos	**Texto Editores**

Texto Editores

Av. Para o Palmar Q. 35, n.º 141A • Sommerchield II • Maputo • Moçambique
Tel: (+258) 21 49 73 04
Fax: (+258) 21 49 73 05
Cels: (+258) 82 326 1460 • (+258) 84 326 1460
E-mail: info@me.co.mz

© 2008, Texto Editores, Lda.

Reservados todos os direitos. É proibida a reprodução desta obra por qualquer meio (fotocópia, offset, fotografia, etc.) sem o consentimento escrito da Editora, abrangendo esta proibição o texto, a ilustração e o arranjo gráfico. A violação destas regras será passível de procedimento judicial, de acordo com o estipulado no Código do Direito de Autor. D.L. 4 de 27 de Fevereiro de 2001.

MAPUTO, JANEIRO de 2017 • 2.ª EDIÇÃO • 2.ª TIRAGEM • REGISTADO NO INLD SOB O NÚMERO: 5900/RLINLD/2008

Digitalizado com CamScanner

Alberto Felisberto Cupane

F9

Física 9.ª Classe



Texto Editores

Digitalizado com CamScanner

Prefácio

Este livro abarca de maneira escalonada todos os conteúdos preconizados pelo Programa de Ensino da Física da 9.ª Classe, nomeadamente:

- Fenómenos térmicos
- Estática dos sólidos
- Estática dos fluidos ou hidrostática
- Óptica geométrica

A abordagem de cada conteúdo foi feita de forma simples e directa, numa linguagem de fácil compreensão que permita ao aluno investigar, mesmo sem a presença de um professor, pois uma das armas fundamentais para o sucesso, em todas as esferas da vida, é a auto-disciplina e a capacidade de análise e de estudo individual.

Todos os conteúdos abordados neste livro são acompanhados por um determinado número de Exercícios Resolvidos, que variam consoante a complexidade do assunto, bem como por um grande número de Exercícios de Consolidação (com as respectivas soluções no fim desta obra), de maneira a possibilitar o estudo individual ou em grupo, dentro e fora da sala de aulas.

Os objectivos do nosso sistema de ensino, no que concerne ao Ensino da Física, consistem em dar uma formação integral ao aluno nas quatro grandes vertentes da esfera do «saber moderno», nomeadamente: «saber ser», «saber conhecer», «saber fazer» e «saber viver juntos e com os outros». Estes objectivos tornaram-se num dos principais focos desta obra, já que ao conseguirmos alcançar estas quatro vertentes, estaremos a formar com sucesso as gerações do futuro, capazes de enfrentar os problemas e os desafios que a conjuntura mundial cada vez mais nos impõe.

Por isso, a prática experimental é, nesta obra, exaustivamente recomendada, já que ela permite alcançar com qualidade as quatro vertentes da Educação em Moçambique.

Para que a formação dos alunos da 9.ª Classe possa ser integral, o binómio «Teoria-Prática» não pode ser descurado, devendo, sempre que possível, serem providenciadas visitas de estudo a locais onde os nossos jovens possam ver a aplicação prática dos seus conhecimentos teóricos. Uma simples visita de estudo a uma obra em construção, por exemplo, permitirá ao aluno visualizar a aplicação prática das máquinas simples.

Para terminar gostaria de (re)lembrar que «A Física não é uma ciência acabada». Ela é, isso sim, uma ciência viva e dinâmica, que todos os dias conhece avanços e recuos, que nos fascinam, que nos envolvem e que, cada vez mais, nos catapultam para voos mais arrojados e cativantes, por isso, qualquer sugestão para a melhoria desta obra será sempre bem-vinda.

Aos professores apenas um conselho: «Ensinem com paixão», pois a tarefa de transmitir conhecimentos é das mais nobres que existe.

O autor

Digitalizado com CamScanner

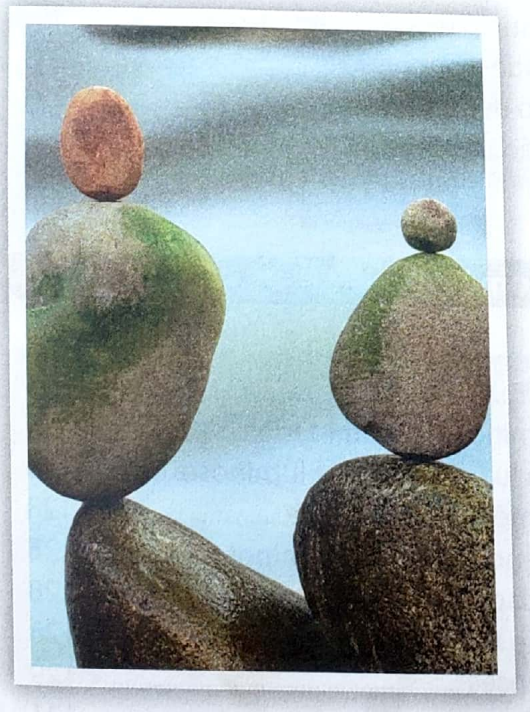
Índice

Unidade 1: Fenómenos térmicos



Introdução 8
Conceito de temperatura 8
Construção e funcionamento dos termómetros 9
Escalas termométricas 10
Dilatação térmica dos sólidos, líquidos e gases 14
Dilatação dos sólidos 15
Dilatação dos líquidos e dos gases 16
Conceito de calor 18
Transmissão de calor por condução, convecção e radiação 22
Condução 22
Convecção 25
Radiação 26
Efeitos do calor na Natureza 31
Equilíbrio térmico 36
Exercícios de consolidação 40

Unidade 2: Estática dos sólidos



Introdução 44
Equilíbrio dos corpos 44
Revisão do conceito de força e seus elementos 44
Sistema de forças e a sua resultante 46
Centro de gravidade 50
Tipos de equilíbrio 53
Condição de equilíbrio de um corpo apoiado num plano 55
Momento de uma força 57
Máquinas simples 58
Alavanca 59
Vantagem mecânica da alavanca 60
A alavanca na técnica e na vida quotidiana 60
Roldana 63
Roldana fixa 64
Roldana móvel 64
Associação de roldanas – talha e cadernal 64
Sarilho 68
Plano inclinado 68
Exercícios de consolidação 71

Digitalizado com CamScanner

Índice

Unidade 3: Estática dos fluidos



Introdução 78
Principais conceitos 78
Densidade de uma substância 78
Pressão exercida por sólidos, líquidos e gases 82
Unidades de pressão 84
Exercícios de consolidação 89
Hidrostática 91
Propriedades dos líquidos 91
Pressão hidrostática 91
Pressão atmosférica 94
Equação fundamental da hidrostática 95
Pressão hidrostática absoluta num ponto 96
Exercícios de consolidação 98
Vasos comunicantes 100
Líquidos imiscíveis num sistema de vasos comunicantes 101
Princípio de Pascal 104
Aparelhos hidráulicos 105
Funcionamento 105
Exercícios de consolidação 108
Força de impulsão e o Princípio de Arquimedes 110
Factores de que depende a impulsão 113
Condições de flutuação dos corpos 117
Exercícios de consolidação 120

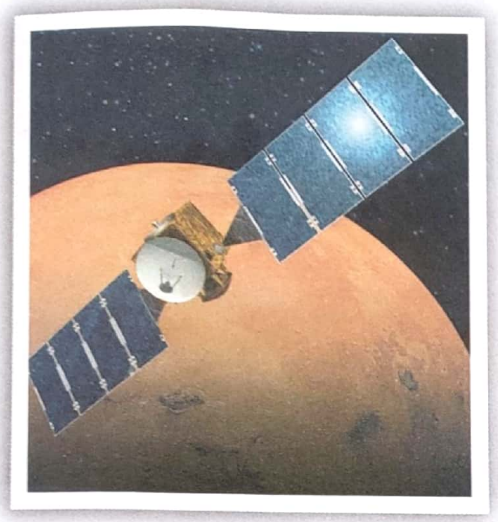
Unidade 4: Óptica geométrica



Introdução 124
Fontes de luz. Corpos luminosos e iluminados 124
Propagação rectilínea da luz. Raio e feixe luminoso 125
Princípios da óptica geométrica 128
Princípio da independência dos raios luminosos 128
Princípio da reversibilidade dos raios luminosos 128
Princípio da propagação rectilínea da luz 128
Sombra, penumbra e eclipses 129
Reflexão da luz 131
Leis da reflexão da luz 132
Espelhos planos 134
Imagens produzidas por espelhos planos 135
Características das imagens obtidas por espelhos planos 136
Espelhos esféricos 138
Elementos principais 138

Digitalizado com CamScanner

Índice

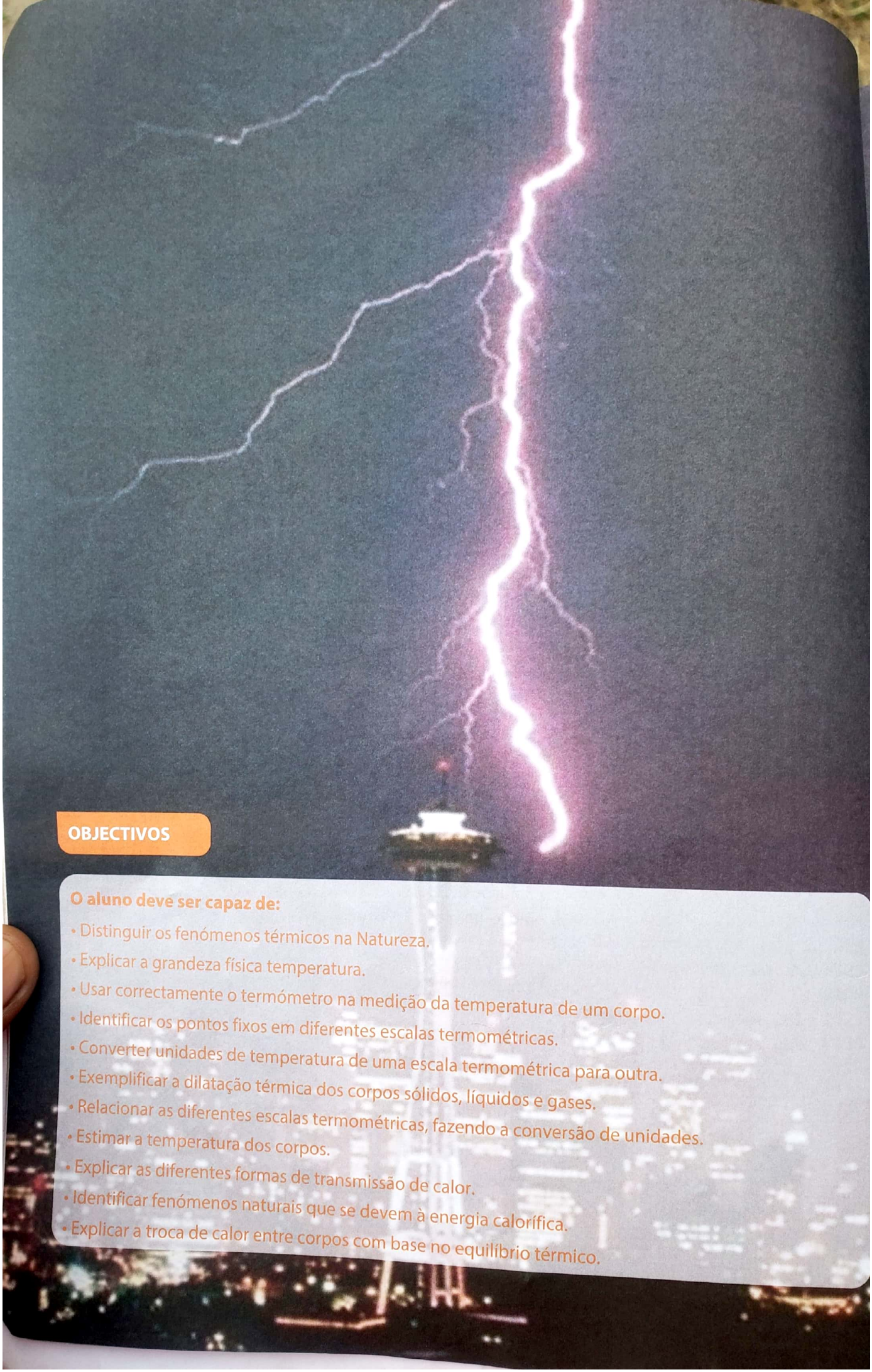




Reflexão de raios paralelos, focais e centrais num espelho côncavo 140
Construção geométrica de imagens em espelhos côncavos 140
Exercícios de consolidação 145
Refracção da luz 146
Leis da refracção da luz 148
Índice de refracção absoluto e refrangência de um meio 148
Refracção, reflexão e reflexão total da luz. Ângulo limite 152
Lentes delgadas 155
Elementos de uma lente 157
Refracção de raios paralelos, focais e centrais numa lente biconvexa 158
Construção geométrica de imagens em lentes biconvexas 159
Instrumentos ópticos 163
Lupa 164
Luneta ou telescópio refractor 164
Microscópio óptico 165
Máquina fotográfica 166
Máquina de projecção 167
Olho humano 168
Formação de imagens no olho humano 170
Deficiências do olho humano 170
Miopia 170
Hipermetropia 171
Presbitia 172
Exercícios de consolidação 173

Soluções 174
Bibliografia 176

Digitalizado com CamScanner

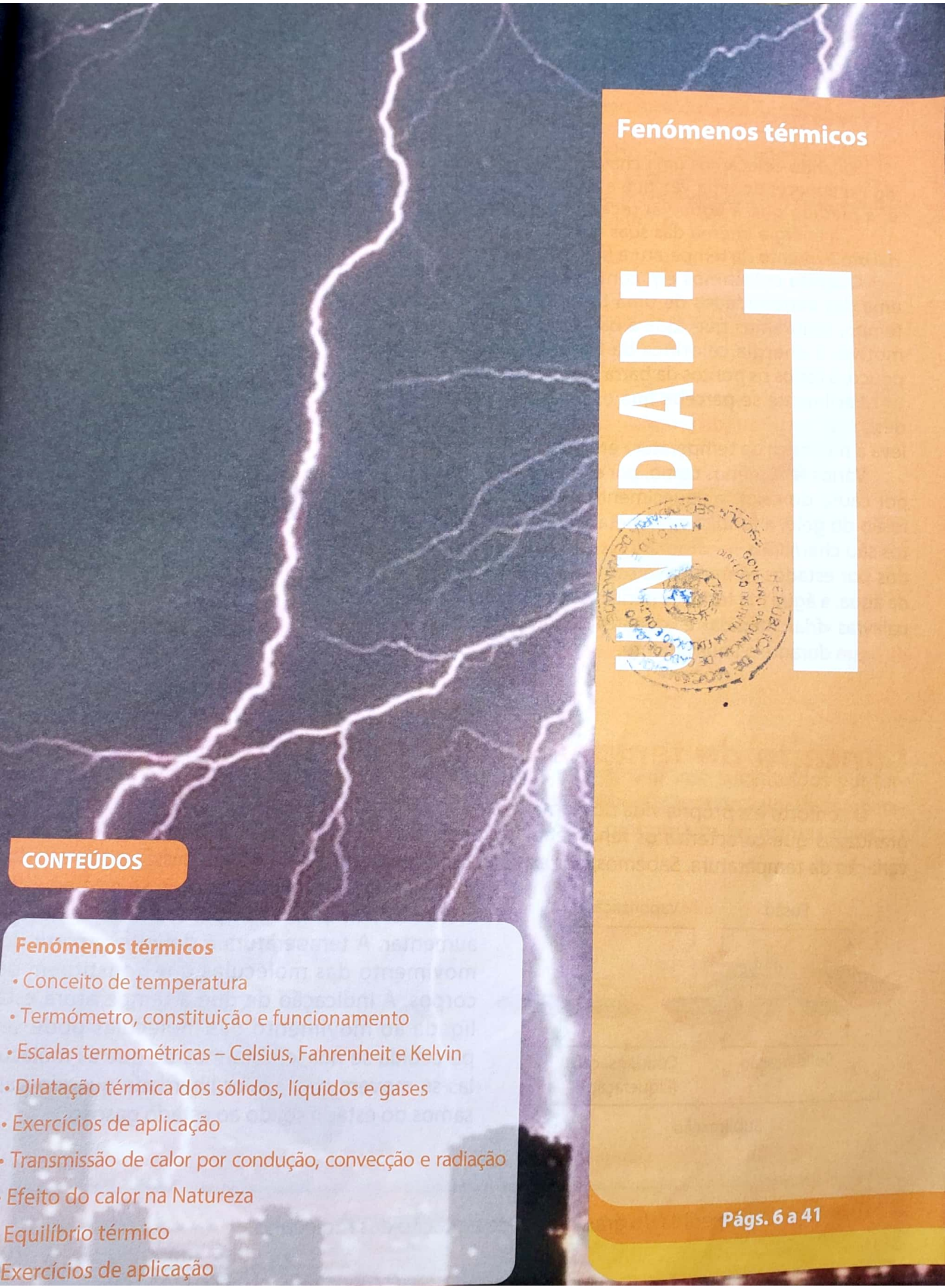


OBJECTIVOS

O aluno deve ser capaz de:

- Distinguir os fenómenos térmicos na Natureza.
- Explicar a grandeza física temperatura.
- Usar correctamente o termómetro na medição da temperatura de um corpo.
- Identificar os pontos fixos em diferentes escalas termométricas.
- Converter unidades de temperatura de uma escala termométrica para outra.
- Exemplificar a dilatação térmica dos corpos sólidos, líquidos e gases.
- Relacionar as diferentes escalas termométricas, fazendo a conversão de unidades.
- Estimar a temperatura dos corpos.
- Explicar as diferentes formas de transmissão de calor.
- Identificar fenómenos naturais que se devem à energia calorífica.
- Explicar a troca de calor entre corpos com base no equilíbrio térmico.

Digitalizado com CamScanner



Fenómenos térmicos

UNIDADE 1

CONTEÚDOS

Fenómenos térmicos

- Conceito de temperatura
- Termómetro, constituição e funcionamento
- Escalas termométricas – Celsius, Fahrenheit e Kelvin
- Dilatação térmica dos sólidos, líquidos e gases
- Exercícios de aplicação
- Transmissão de calor por condução, convecção e radiação
- Efeito do calor na Natureza
- Equilíbrio térmico
- Exercícios de aplicação

Págs. 6 a 41

Digitalizado com CamScanner

Introdução

Quando colocamos uma chaleira com água ao lume, o líquido vai aquecendo uma vez que a sua temperatura aumenta, isto é, à medida que a água vai recebendo **energia calorífica da fonte**, a energia interna das suas moléculas aumenta, resultando daí um aumento da temperatura (figura 1.1 **A**).

Quando colocamos em contacto uma fonte de calor com uma das extremidades de uma barra metálica, passado algum tempo, sentiremos que toda a barra aqueceu, isto é, por algum motivo, a energia calorífica da fonte foi transferida, pouco a pouco, a todos os pontos da barra metálica (figura 1.1 **B**).

Facilmente se percebe que os fenómenos que acabámos de descrever **resultam da troca de calor entre os corpos**, facto que leva à mudança da temperatura em pelo menos um dos corpos.

Vários fenómenos como, por exemplo, a dilatação dos corpos por causa do calor, o aquecimento e o arrefecimento da água, a fusão do gelo, a fundição de metais, a ebulição da água e os ventos são chamados **fenómenos térmicos**, os quais são caracterizados por estados térmicos. No caso, por exemplo, do aquecimento da água, a água fria torna-se inicialmente tépida e depois quente. As palavras «fria», «tépida» e «quente» designam os **estados térmicos da água** durante o aquecimento.



Fig. 1.1 Fenómenos térmicos
1.1 A Uma chaleira ao lume
1.1 B Aquecimento de uma barra metálica

Conceito de temperatura

O conforto e a própria vida do Homem dependem de muitos fenómenos térmicos. Uma das grandezas que caracteriza os fenómenos térmicos é a **temperatura**, ou mais precisamente a variação da temperatura. Sabemos, por experiência, que para o gelo derreter, passando ao estado líquido, este deve ser aquecido e se este aquecimento continuar, a temperatura da água vai aumentar. A temperatura é definida a partir do movimento das moléculas que constituem os corpos. A indicação de que a temperatura está ligada ao movimento das moléculas pode ser percebida se nos lembrarmos de que as moléculas se movem com maior liberdade quando passamos do estado sólido ao estado gasoso.

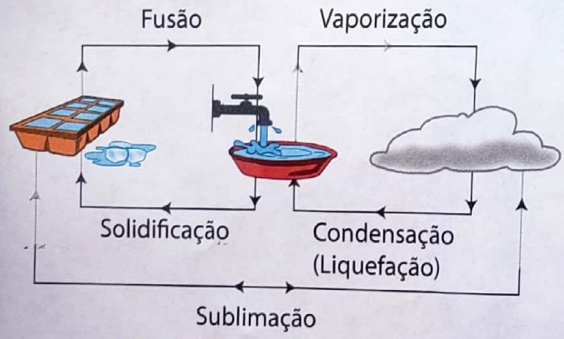


Fig.1.2 Estados físicos da água

Temperatura é a medida do grau médio de agitação das moléculas.

Digitalizado com CamScanner

Quando tocamos nos objectos, os nossos sentidos permitem-nos dizer se eles estão quentes ou estão frios, gelados, tépidos, etc.

Os termos «quente», «frio», «gelado», «tépido», etc., traduzem sensações adquiridas através do tacto, que nos dão uma ideia da temperatura a que os corpos se encontram.

Mas o valor da temperatura assim pressuposto não é, de modo nenhum, preciso. Assim, para avaliar a temperatura de um corpo devemos usar instrumentos próprios denominados termómetros.

Construção e funcionamento dos termómetros

Mede-se a temperatura com a ajuda de **termómetros**.

Os mais usados são os termómetros em que o nível do líquido, contido num tubo capilar, se modifica sempre que a temperatura varia. A escala permite-nos apreciar a variação de temperatura e medir a temperatura final.

Há muitos tipos de termómetros. Os mais antigos são os termómetros de mercúrio, os quais são constituídos por um tubo capilar fechado, de secção constante, que possui um reservatório de mercúrio na sua extremidade inferior (figura 1.3). Neste tubo capilar está fixa uma escala graduada que se chama escala Celsius.



Fig. 1.3 Termómetro de mercúrio

Dada a elevada toxicidade do mercúrio, estes termómetros têm sido substituídos por termómetros de álcool (figura 1.4), contendo um corante para facilitar a leitura do valor da temperatura na escala graduada e termómetros digitais (figura 1.5), que podem ter formas diversas conforme o uso a que se destinam.



Fig.1.4 Termómetro de álcool com corante



Fig. 1.5 Termómetro digital

Os termómetros de mercúrio e de álcool funcionam porque o líquido se dilata, regularmente isto é, o seu volume aumenta quando aquecido. Além disso, quando arrefecido, contrai-se e para variações de temperatura iguais, sofre variações de volume iguais.

Digitalizado com CamScanner

Escalas termométricas

Existem muitas grandezas físicas mensuráveis que variam quando a temperatura do corpo é alterada. Em princípio, essas grandezas podem ser utilizadas como indicadores da temperatura dos corpos. Entre elas, podem citar-se o volume de um líquido, a resistência eléctrica de um fio e o volume de um gás mantido a pressão constante.

Escolhendo-se arbitrariamente grandezas que possam servir para aferir a temperatura, conhecidas como grandezas termométricas, podem construir-se uma infinidade de termómetros com escalas arbitrárias e muitas vezes incomuns. A fim de evitar esse inconveniente, podem estabelecer-se certas regras para essas grandezas ou propriedades das substâncias, regras essas que devem ser adoptadas internacionalmente.

Usando regras definidas, obtêm-se diversas escalas termométricas.

Assim, para marcar a escala de um termómetro escolhem-se duas temperaturas que possam ser facilmente estabelecidas e confirmadas: os pontos fixos da escala (figura 1.6).

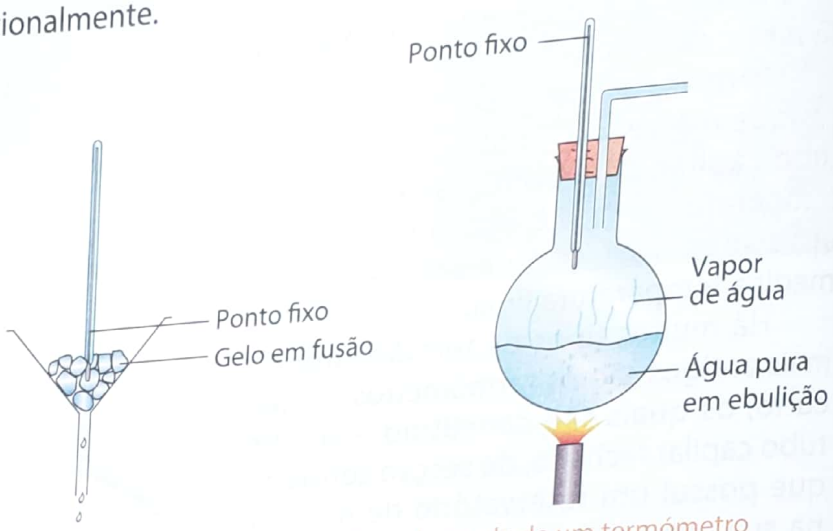


Fig. 1.6 Marcação dos pontos fixos da escala de um termómetro

Escolheram-se, como pontos fixos, a temperatura a que a água congela (igual à temperatura a que o gelo funde) e a temperatura do vapor de água quando a água pura está em ebulição, à pressão de uma atmosfera (1 atm).

Marcam-se os níveis de líquido correspondentes e depois é só dividir em partes iguais o espaço compreendido entre os níveis marcados e numerar as divisões obtidas. Faz-se, desta forma, a calibração do termómetro.

A cada uma das divisões dá-se o nome de grau.

Os valores numéricos atribuídos aos pontos fixos variam de escala para escala. A **escala Celsius** é a mais comum de todas as escalas termométricas.

A escala de temperatura Celsius foi criada por Anders Celsius, em 1742 (figura 1.7).

Esta escala foi concebida de forma a que o ponto de congelação (congelamento) da água correspondesse ao valor zero e o ponto de ebulição correspondesse ao valor 100. Estava criada a escala Celsius. Cada grau desta escala deve ser referido como grau Celsius. O símbolo respectivo é °C. Esta escala tem a vantagem de poder ser reproduzida em qualquer parte do planeta.



Fig. 1.7 Anders Celsius (1701--1744). Foi um astrónomo sueco e propôs, pela primeira vez, em 1742, num documento endereçado à Academia Real de Ciências da Suécia, a escala de temperatura Celsius.

Digitalizado com CamScanner

Como existem cem graduações entre esses dois pontos de referência, o nome original para esta escala foi centígrado (100 partes) ou centésimos. Em 1948, o nome da escala foi oficialmente modificada para Celsius durante a 9.ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, tanto em reconhecimento a Celsius como para eliminar a confusão causada pelo conflito de uso do prefixo *centi* do Sistema Internacional de unidades (SI). Portanto, não é conveniente dizer grau centígrado, mas sim grau Celsius.

Por outro lado, nos países de expressão inglesa, a escala mais utilizada é a **Fahrenheit** (°F). Esta escala foi criada pelo inventor do termómetro de mercúrio, Daniel Gabriel Fahrenheit, em 1714 (figura 1.8). Para isso, ele escolheu dois pontos de partida, chamados actualmente de pontos fixos. Inicialmente, ele colocou o seu termómetro, ainda sem nenhuma escala, dentro de uma mistura de água, gelo e sal de amónio. O mercúrio ficou estabilizado em determinada posição, a qual ele marcou e chamou de zero. Depois, ele colocou novamente este mesmo termómetro para determinar um segundo ponto, a temperatura do corpo humano. Quando o mercúrio estabilizou igualmente em determinada posição, ele marcou-a e chamou de 100. Depois foi só dividir o espaço, entre o zero e o cem, em cem partes iguais. Estava criada a escala Fahrenheit.

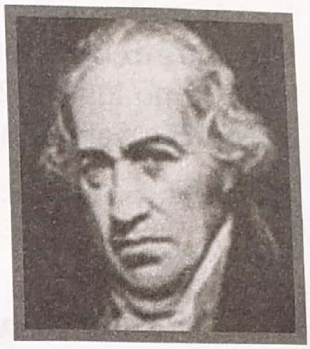


Fig. 1.8 Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736). Foi um físico alemão. Construiu aerómetros e deu forma definitiva ao termómetro de álcool e depois ao de mercúrio; para o último, concebeu a escala de temperatura Fahrenheit.

Depois disso, quando Fahrenheit colocou o seu termómetro graduado numa mistura de água e gelo, obteve o valor de 32 °F, e quando o colocou em água em ebulição, obteve o valor de 212 °F. Portanto, na escala Fahrenheit, a água solidifica a 32 °F e entra em ebulição a 212 °F.

Existe uma terceira escala, chamada de **kelvin** (K), em homenagem a Lord Kelvin que a desenvolveu (figura 1.9), **escala absoluta de temperaturas**, que tem como ponto de referência, o zero absoluto, o qual corresponde ao menor estado de agitação das moléculas. Este estado de ausência de agitação é conhecido como **zero absoluto** e não pode ser alcançado experimentalmente, embora se possa chegar muito próximo dele.

A escala Kelvin adopta como ponto de partida o zero absoluto (0 K), ou seja, o ponto onde ocorre esta ausência total de vibração das moléculas. Essa temperatura, convertida para graus Celsius, equivale a −273,15 °C.

A ideia de se propor esta escala apareceu das discussões em torno de temperaturas máximas e mínimas que podem ser alcançadas por um corpo. Verificou-se que, teoricamente, não há, um limite máximo para a temperatura que um corpo pode atingir. Contudo, observou-se que existe um limite natural para a temperatura mínima.

Nesta escala, o gelo forma-se a 273,15 K e a água entra em ebulição a 373,15 K (ao nível do mar). Por comodidade, adoptaremos os valores de 273 K e 373 K

Esta escala é muito usada no meio científico, já que ela pertence ao Sistema Internacional de unidades (SI).

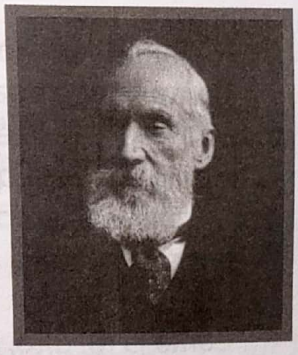


Fig. 1.9 William Thomson, Lord Kelvin, (1824-1907). Foi um físico, matemático e engenheiro britânico. Ele foi amplamente conhecido por desenvolver a escala Kelvin de temperatura absoluta.

Digitalizado com CamScanner

Enquanto unidade do SI, o **kelvin** (K) não deve ser precedido pelas palavras grau ou graus ou o símbolo °, como em grau Celsius ou grau Fahrenheit. Isto ocorre porque estas são escalas de medição, enquanto que o kelvin é uma unidade de medição.

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de temperatura é o **kelvin** (símbolo K).

As escalas internacionais de temperatura utilizam o ponto triplo da água (ponto de equilíbrio entre as fases sólida, líquida e de vapor) como padrão; a sua temperatura, em kelvin, é escolhida como igual a 273 K. A partir desse ponto base, escolhem-se outros pontos úteis para a construção e aferição de termómetros.

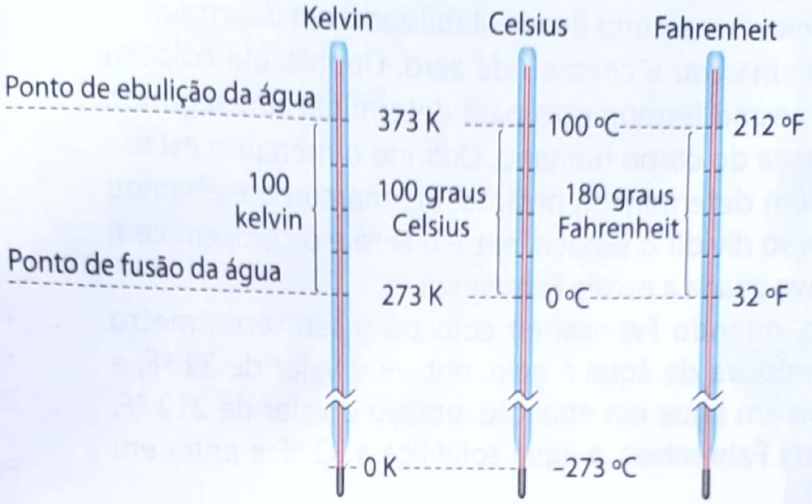


Fig. 1.10 Relação entre as escalas termométricas

Na figura 1.10 apresenta-se a relação entre as escalas termométricas.

Como se vê, cada uma das três escalas foi definida de uma maneira diferente. A figura representa a relação existente entre elas, tendo em conta o ponto de ebulição da água e o ponto de fusão do gelo. Verifique que estes pontos mudam, dependendo da escala adoptada. Se se perguntar qual é a temperatura de fusão do gelo, podem dar três respostas: 0 °C, 32 °F ou 273 K. Todas representam a mesma temperatura.

Como já foi dito, a unidade de temperatura no Sistema Internacional é o kelvin. Nesta escala de temperatura não há temperaturas negativas. Sabemos que a temperatura está associada à agitação molecular: quanto maior for a agitação molecular, maior será a temperatura.

Para uma transformação ocorrida de Fahrenheit para Celsius ou vice-versa, temos que:

$$T_{°F} = \frac{9}{5} T_{°C} + 32 \quad \text{ou} \quad T_{°C} = \frac{5\,(T_{°F} - 32)}{9}$$

Para uma transformação ocorrida entre kelvin e Celsius, vem:

$$T_{°C} = T_K - 273$$

Digitalizado com CamScanner

A tabela 1 ilustra, de forma mais resumida, os pontos fixos nas diferentes escalas termométricas, bem como a forma de se passar de uma escala para outra.

Tabela 1: Conversão das unidades de medida da temperatura

Fahrenheit	Celsius	Kelvin	Podemos estabelecer as seguintes relações:
212 °F	100 °C	373 K	$\frac{(T_{°F}-32)}{(212-32)}=\frac{(T_{°C}-0)}{(100-0)}=\frac{(T_K-273)}{(373-273)}$ sendo assim, teremos:
$T_{°F}$	$T_{°C}$	T_K	$\frac{T_{°C}}{5}=\frac{T_{°F}-32}{9}$ Para converter temperaturas entre as escalas Celsius e Fahrenheit
32 °F	0 °C	273 K	$T_{°C}=T_K-273$ Para converter temperaturas entre as escalas Celsius e Kelvin

Exercícios resolvidos

1. Um turista moçambicano na Austrália, logo depois de acordar, consultou o boletim meteorológico para esse dia, constatando que as temperaturas, mínima e máxima, seriam de 77 °F e 104 °F. Que roupas, de época quente ou fria, o turista deveria usar?

Resolução

Temperatura máxima:

$$\frac{T_{°C}}{5}=\frac{T_{°F}-32}{9}\Leftrightarrow\frac{T_{°C}}{5}=\frac{104-32}{9}\Leftrightarrow\frac{T_{°C}}{5}=\frac{72}{9}\Leftrightarrow T_{°C}=\frac{5\cdot72}{9}\Leftrightarrow T_{°C}=40\ °C$$

Temperatura mínima:

$$\frac{T_{°C}}{5}=\frac{T_{°F}-32}{9}\Leftrightarrow\frac{T_{°C}}{5}=\frac{77-32}{9}\Leftrightarrow\frac{T_{°C}}{5}=\frac{45}{9}\Leftrightarrow T_{°C}=\frac{5\cdot45}{9}\Leftrightarrow T_{°C}=25\ °C$$

R.: Seguramente que o turista deveria usar roupas da época quente nesse dia.

2. Num laboratório um cientista ao medir a temperatura de um gás encontrou o valor de 300 K. Se tivesse usado um termómetro em graus Celsius qual seria a indicação do instrumento?

Resolução

$$T_{°C}=T_K-273\Leftrightarrow T_{°C}=300-273\Leftrightarrow T_{°C}=27\ °C$$

3. Paulo, aluno da 9.ª classe, decidiu construir o seu próprio termómetro graduado em «graus Paulo – °P». Constatou que os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água eram 40 °P e 200 °P, respectivamente. Entusiasmado com o seu feito mediu a temperatura ambiente e o seu termómetro deu-lhe a leitura de 88 °P.

a) Encontra uma relação matemática que permita converter temperaturas «Paulo» em temperaturas Celsius.

b) Qual era a temperatura ambiente que um termómetro em graus Celsius marcaria?

Resolução

a) $\frac{T_{°C}}{100}=\frac{T_{°P}-40}{160}\Leftrightarrow\frac{T_{°C}}{5}=\frac{T_{°P}-40}{8}$ **b)** $\frac{T_{°C}}{5}=\frac{88-40}{8}\Leftrightarrow T_{°C}=\frac{5\cdot48}{8}\Leftrightarrow T_{°C}=30\ °C$

Digitalizado com CamScanner

Dilatação térmica dos sólidos, líquidos e gases

Os corpúsculos (átomos ou moléculas) de uma substância movimentam-se incessantemente, quer se trate de substâncias sólidas, líquidas ou gasosas. Em qualquer caso, numa substância mais quente ocorrem movimentos corpusculares mais rápidos. Contudo, há diferenças resultantes da maneira como os corpúsculos estão ligados uns aos outros.

Nos **sólidos** e nos **líquidos**, os corpúsculos estão muito mais próximos do que nos **gases**. Num sólido, os corpúsculos estão próximos e nunca estão quietos, movendo-se para um lado e para o outro, mas sem saírem praticamente dos seus lugares. Num líquido, os corpúsculos já têm maior liberdade de movimentos. Num gás, os corpúsculos movem-se ainda com maior liberdade e estão muito mais afastados entre si.

A distância média entre os corpúsculos é maior nos gases do que nos líquidos.

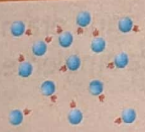
Nos seus movimentos livres, os corpúsculos de um gás colidem não só uns com os outros, mas também com as paredes do recipiente. Por isso, o volume e a forma de uma amostra de gás variam com a capacidade e a forma do recipiente que o contém.

Num líquido, os movimentos são menos livres, pelo que só a forma depende do recipiente, o volume é sempre o mesmo quer o líquido esteja numa proveta ou num copo graduado.

Num sólido, os movimentos corpusculares são mais limitados, pelo que nem a forma nem o volume variam, ou seja, um sólido tem volume e forma próprios. Por exemplo, uma pedra tem o mesmo volume e a mesma forma quer esteja numa proveta, num copo de precipitação ou no chão.

Na tabela 2 apresenta-se um resumo das principais características sobre sólidos, líquidos e gases.

Tabela 2: Propriedades dos materiais

Estado físico e organização corpuscular	Propriedades dos materiais
Sólido 	Os corpúsculos estão fortemente agregados, pelo que apresentam forma e volume constantes (a temperatura constante), independentemente do recipiente em que estejam.
Líquido 	Os corpúsculos estão muito juntos, mas possuem movimentos relativamente livres. Por isso, apresentam volume constante (a temperatura constante) mas forma variável, dependente do recipiente em que estejam.
Gasoso 	Os corpúsculos estão menos agregados e possuem grande liberdade de movimento. Por isso, apresentam forma e volume variáveis, dependentes do recipiente em que estejam.

Na água quente, os corpúsculos (as moléculas de água) têm movimentos mais rápidos do que na água fria. Ao retirarmos um termómetro de mercúrio de um copo de água fria para um copo de água quente, neste novo ambiente, as moléculas de água movem-se mais rapidamente e chocam mais frequentemente e com mais violência contra o vidro do termómetro. Por este facto, os corpúsculos do termómetro ficam mais agitados, inclusive os corpúsculos do mercúrio. Esta maior agitação corpuscular do mercúrio é acompanhada por uma dilatação, isto é, por um aumento de volume.

Digitalizado com CamScanner

Quanto mais quente for o ambiente, mais o mercúrio dilatará e subirá no tubo termométrico.

Em Física, a **dilatação térmica** é o nome que se dá ao aumento do volume de um corpo provocado pelo aumento da sua temperatura, o que causa o aumento no grau de agitação das suas moléculas e o consequente aumento na distância média entre as mesmas. A mais simples aplicação da dilatação térmica pode ser vista na utilização dos termómetros de mercúrio.

Praticamente todas as substâncias, sejam sólidas, líquidas ou gasosas, dilatam-se com o aumento da temperatura e contraem-se quando a sua temperatura é diminuída e o efeito da variação da temperatura, principalmente a dilatação, tem muitas implicações no nosso quotidiano.

No nosso dia-a-dia podemos observar um espaçamento nos blocos de cimento das ruas e avenidas, bem como entre os trilhos dos caminhos-de-ferro dos comboios ou em algumas pontes (figura 1.11). Esse espaçamento é necessário justamente por causa da dilatação que os materiais sofrem. Por exemplo, uma ponte metálica de 300 m de comprimento pode aumentar até 20 cm.

Todos os corpos (sólidos, líquidos e gasosos) estão sujeitos à dilatação térmica. Vamos estudá-la para cada um desses corpos.



Fig. 1.11 Junta de dilatação

Dilatação dos sólidos

A dilatação de um corpo ocorre em todas as suas dimensões. Nos corpos sólidos a dilatação pode ser:

- linear
- superficial
- volumétrica

A **dilatação linear** corresponde ao aumento do comprimento dos corpos quando aquecidos. Por exemplo, os fios de telefone e os cabos de energia de alta tensão, expostos ao Sol nos dias quentes da época quente, variam as suas temperaturas consideravelmente, fazendo com que o fio se dilate, o que se verifica numa certa curvatura do fio (figura 1.12).

A **dilatação superficial** refere-se à área do sólido dilatado, como, por exemplo, a sua largura e o seu comprimento. Há corpos que podem ser considerados bidimensionais, pois a sua terceira dimensão é desprezível face às outras duas, como é o caso de uma chapa. Neste caso, a dilatação ocorre nas suas duas dimensões lineares, ou seja, na área total do corpo.

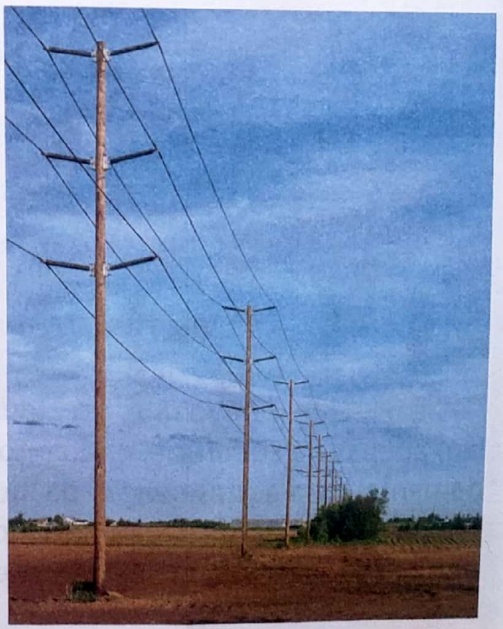


Fig. 1.12 Cabos de electricidade

Digitalizado com CamScanner



Fig. 1.13 Aro metálico de uma roda de madeira de uma carroça

A dilatação superficial é utilizada na colocação de aros metálicos ao redor das rodas de carroças. Neste caso, o aro metálico tem diâmetro menor que a roda de madeira e, por isso, tem de se aquecer o aro para se conseguir colocá-lo. Este, ao arrefecer contrair-se e prende-se fortemente à roda de madeira (figura 1.13).

A **dilatação volumétrica** refere-se ao aumento do volume do sólido, isto é, da sua altura, da sua largura e do seu comprimento.

Os sólidos que melhor se dilatam são os metais, principalmente o alumínio e o cobre. Um bom exemplo disto observa-se na abertura de tampas metálicas de frascos de conservas que aumentam de dimensões mais do que o vidro e, por isso, abrem-se mais facilmente quando aquecidas (figura 1.14).



Fig. 1.14 Frasco de conserva com tampa metálica

Dilatação dos líquidos e dos gases

Os líquidos e os gases, assim como os sólidos, também sofrem dilatação com a variação da temperatura. Como os líquidos e os gases não têm forma própria, só se tem em conta a **dilatação volumétrica**. Em geral, os líquidos e os gases aumentam de volume quando aquecidos e diminuem de volume quando arrefecidos.

Contudo, com a água, o processo de dilatação é um pouco diferente. Ao ser arrefecida, ela diminui de volume tal como os outros líquidos, mas isto só acontece até aos 4 °C. Se a temperatura continuar a diminuir, abaixo dos 4 °C, o volume da água começa a aumentar. Tal comportamento pode ser observado na figura 1.15.

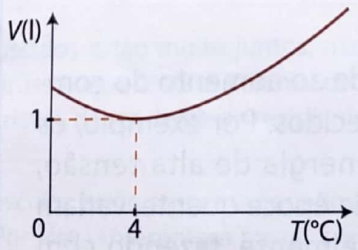


Fig. 1.15 Gráfico do volume em função da temperatura para a água

É por este motivo que, em alguns países onde o Inverno é rigoroso, os lagos e os rios congelam apenas na superfície, enquanto, no fundo, encontra-se água líquida a 4 °C. Este facto é fundamental para a preservação da fauna e da flora desses locais. Se a água não apresentasse esta irregularidade na dilatação, os lagos e os rios congelar-se-iam na totalidade, causando danos irreparáveis às plantas e animais aquáticos.

Digitalizado com CamScanner

A dilatação ocorre de forma mais significativa nos gases, de forma intermédia nos líquidos e de forma menos explícita nos sólidos, podendo-se afirmar que:

dilatação nos gases > dilatação nos líquidos > dilatação nos sólidos

Experiência

Dilatação dos corpos

Parte A

Material

- Uma esfera metálica
- Arame forte
- Fonte de calor
- Suporte
- Fio

Procedimento

1. Com o arame fazer um anel que se ajuste bem ao diâmetro da esfera de modo que ela passe «à justa» pelo anel (figura 1.16 A).
2. Com a fonte de calor aquecer bem a esfera (figura 1.16 B).
3. Tentar fazer a esfera passar pelo anel (figura 1.16 C).

O que observas?

A esfera já não passa, porque aumentou de volume, isto é, dilatou.

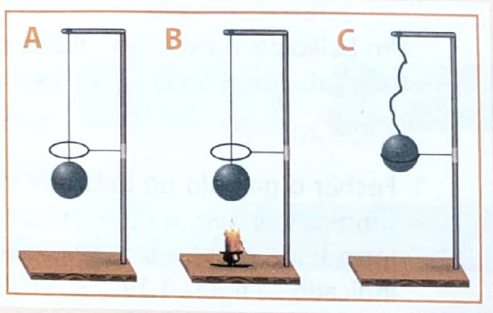


Fig. 1.16 Montagem experimental.

4. Deixar a esfera arrefecer e tentar novamente.

O que observas?

É estranho. Agora já passa. O arrefecimento contraiu a esfera.

Parte B

Material

- Um prego
- Duas barras metálicas
- Fonte de calor
- Bloco de madeira
- Pinça

Procedimento

1. Fixar duas barras metálicas num bloco de madeira e fazer uma baliza de modo que o prego passe «à justa» por ela (figura 1.17 A).
2. Aquecer bem o prego (figura 1.17 B).
3. Tentar fazer o prego passar pela baliza (figura 1.17 C).

O que observas?

O prego já não passa. Com o aquecimento o prego dilatou.

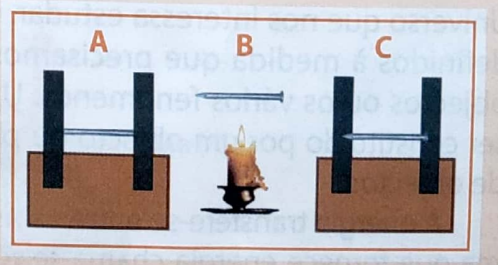


Fig. 1.17 Montagem experimental.

4. Deixar o prego arrefecer.

O que observas?

O prego já passa novamente. Com o arrefecimento o prego contraiu.

Digitalizado com CamScanner

Parte C

Material

• Um bulbo de vidro com gargalo comprido (semelhante ao representado na figura 1.18) • Água à temperatura ambiente • Fonte de calor (vela acesa)

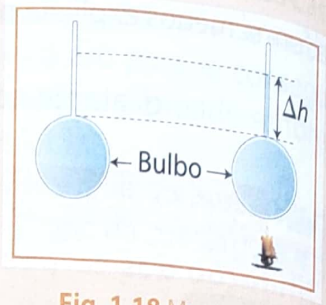


Fig. 1.18 Montagem experimental

Procedimento

1. Colocar água à temperatura ambiente no bulbo (até ao início do gargalo).
2. Com a vela acesa aquecer a água e verificar que, à medida que esta aquece, o seu nível vai subindo ao longo do gargalo, mostrando que a água foi dilatando à medida que recebia energia calorífica da fonte de calor.
3. Retirar a vela e deixar a água arrefecer.

O que observas?

Notarás que à medida que a temperatura do líquido for baixando, o seu nível no gargalo também baixa.

Parte D

Material

• Um balão de vidro vazio • Rolha de borracha ou cortiça com furo central • Tubo de vidro em «L» • Óleo

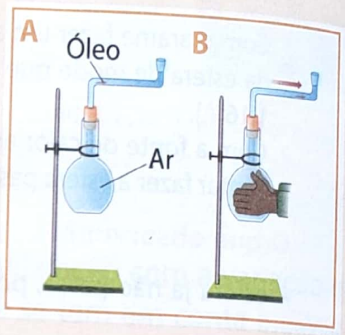


Fig. 1.19 Montagem experimental

Procedimento

1. Fechar o gargalo do balão de vidro com a rolha e introduzir nela o tubo de vidro em «L» (figura 1.19).
2. Introduzir no tubo (zona horizontal) uma gota de óleo (nível) como indicado na figura 1.19 A.
3. Segurar o balão de vidro como indicado na figura 1.19 B.

O que observas?

O calor fornecido pelas mãos é suficiente para aumentar o volume de ar dentro do balão, provocando o deslocamento da gota de óleo.

Conclusão: os corpos, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos, ao serem aquecidos aumentam as suas dimensões (dilatam) e ao serem arrefecidos diminuem as suas dimensões (contraem).

Conceito de calor

Em Física, considera-se sistema à porção do Universo que nos interessa estudar. Os sistemas são definidos à medida que precisamos de estudar os objectos ou os vários fenómenos. Um sistema pode ser constituído por um objecto ou por um conjunto de objectos.

A energia transfere-se entre os sistemas. Ao sistema que fornece energia chama-se **fonte**; ao sistema que recebe energia chama-se **receptor**.

A transferência de energia entre a fonte e o receptor pode fazer-se através de **calor** ou de **trabalho**.

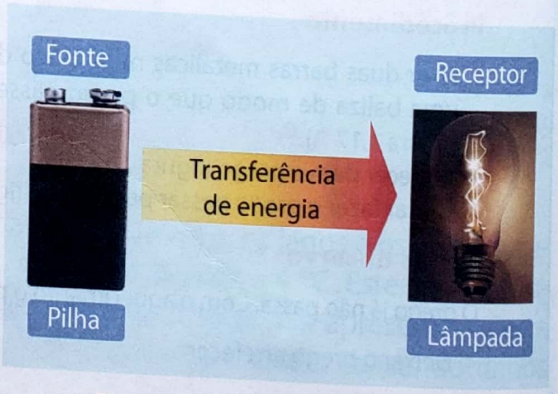


Fig. 1.20 Transferência de energia

Digitalizado com CamScanner

A energia pode ser transferida para um corpo por **aquecimento**. Por exemplo, se tivermos as mãos frias, podemos aquecê-las, colocando-as sobre um objecto quente. Se as mãos aquecem, ganham energia. Sempre que dois corpos a temperaturas diferentes são postos em contacto, o que está a **menor temperatura aquece** (aumentando a temperatura) e o que está a **maior temperatura arrefece** (diminuindo a temperatura). Ocorre uma transferência de energia do corpo a maior temperatura para o de menor temperatura. A esta **energia transferida** dá-se o nome de **calor**.

A energia transferida entre dois corpos a diferentes **temperaturas** é denominada **calor** (figura 1.21).

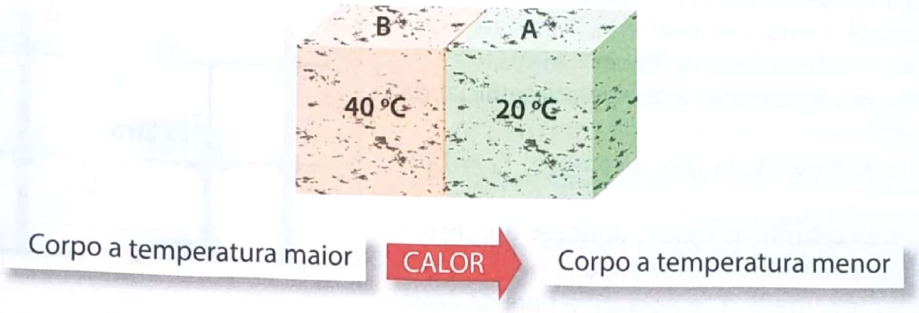


Fig. 1.21 O calor é a energia transferida entre corpos em contacto a diferentes temperaturas.

Por se encontrarem tão ligados, por vezes os conceitos de calor e temperatura são confundidos. É comum ouvires dizer «Hoje está tanto calor!» quando o correcto seria dizer «Hoje a temperatura está muito elevada!».

Por isso, é importante que não esqueças que **calor** é uma denominação utilizada para a energia transferida entre dois corpos e como tal mede-se habitualmente em joules (J), enquanto **temperatura** é uma característica do corpo proporcional à energia cinética das partículas que o constituem (energia interna do corpo), que se mede habitualmente em graus Celsius (°C) (figura 1.22).

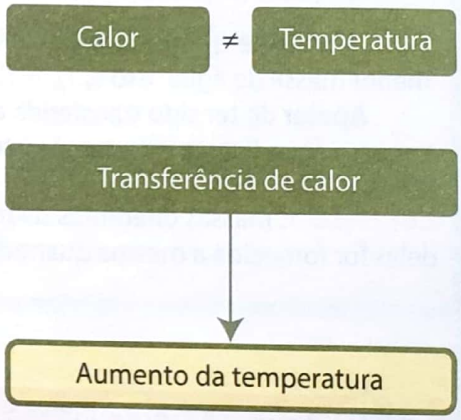


Fig. 1.22 Calor e temperatura

Assim, à medida que a energia é transferida sob a forma de **calor** para um corpo, as partículas que o constituem ganham mais energia cinética, o que se reflecte num aumento da sua **temperatura** (figura 1.23).

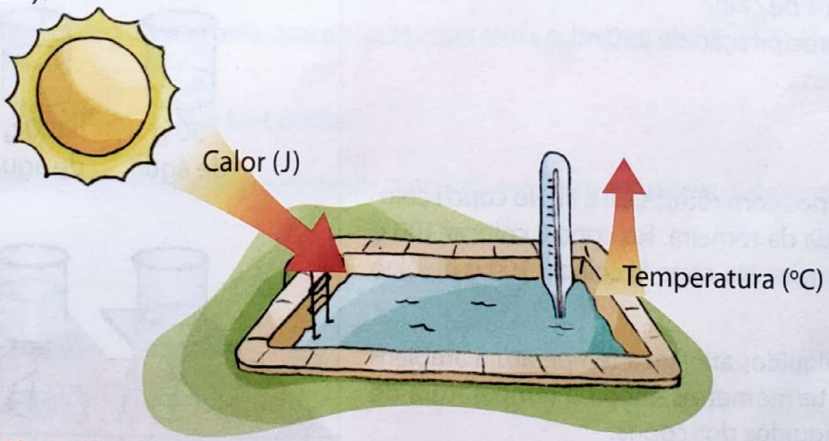


Fig. 1.23 Quando um corpo recebe calor, a sua temperatura aumenta.

Calor é a energia transferida quando há variações de temperatura entre dois ou mais corpos de um sistema.

Digitalizado com CamScanner

Experiência

O aquecimento de um corpo depende da sua massa

Material

- Dois copos de precipitação de capacidades diferentes
- Água
- Termómetro

Procedimento

1. Colocar quantidades diferentes de água, à mesma temperatura inicial, como, por exemplo, 1 litro de água (figura 1.24 A) e 2 litros de água (figura 1.24 B).
2. Medir com um termómetro a temperatura inicial da água.
3. Anotar essa temperatura (por exemplo, $T_A = T_B = 20\ °C$).
4. Usando fontes caloríficas iguais, aquecer durante 5 minutos a água contida em cada copo.
5. Após esse tempo, medir a temperatura final da água e anotar.

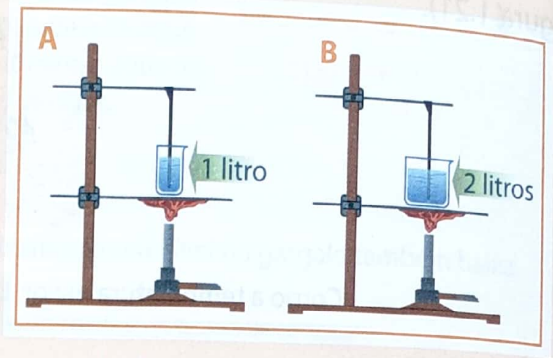


Fig. 1.24 Montagem experimental

O que observas?

Verifica-se que a temperatura final da água é diferente em cada copo, sendo maior a temperatura da menor massa de água, isto é, $T_A > T_B$.

Apesar de ter sido transferida a mesma quantidade de energia (a mesma quantidade de calor) para os dois copos, a água ficou a uma temperatura mais elevada no caso em que a massa é menor.

Conclusão: massas diferentes da mesma substância sofrem diferentes variações de temperatura se a cada uma delas for fornecida a mesma quantidade de calor.

Experiência

O aquecimento de um corpo depende da substância

Material

- Três fontes iguais de calor
- Três copos de precipitação de 250 ml
- Três termómetros

Procedimento

1. Etiquetar os copos com rótulos I, II e III. No copo I colocar 50 g de água da torneira. No copo II colocar 100 g de água da torneira. No copo III colocar 100 g de óleo de cozinha.
2. Deixar que os líquidos atinjam a temperatura ambiente. Usando os termómetros, medir a temperatura de cada um dos líquidos dos copos.
3. Usando uma fonte de calor proceder ao aquecimento da água contida no copo I, durante 2 minutos. Registar a temperatura da água depois do aquecimento.

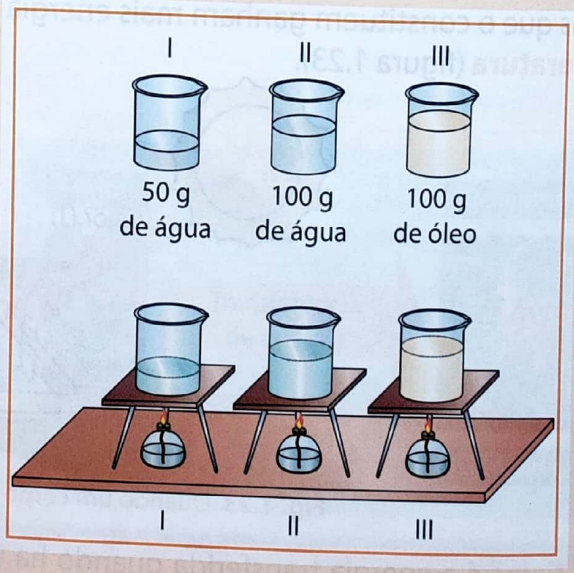


Fig. 1.25 Montagem experimental

Digitalizado com CamScanner

Experiência

O aquecimento de um corpo depende da sua massa

Material

- Dois copos de precipitação de capacidades diferentes
- Água
- Termómetro

Procedimento

1. Colocar quantidades diferentes de água, à mesma temperatura inicial, como, por exemplo, 1 litro de água (figura 1.24 A) e 2 litros de água (figura 1.24 B).
2. Medir com um termómetro a temperatura inicial da água.
3. Anotar essa temperatura (por exemplo, $T_A = T_B = 20\,^{\circ}C$).
4. Usando fontes caloríficas iguais, aquecer durante 5 minutos a água contida em cada copo.
5. Após esse tempo, medir a temperatura final da água e anotar.

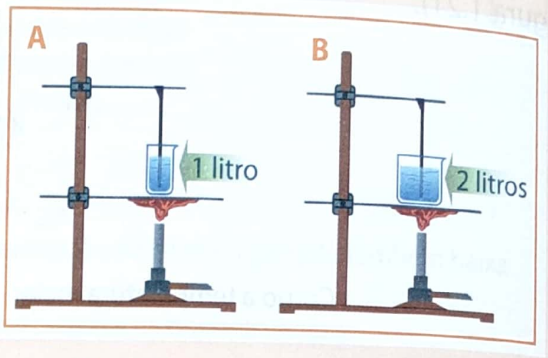


Fig. 1.24 Montagem experimental

O que observas?

Verifica-se que a temperatura final da água é diferente em cada copo, sendo maior a temperatura da menor massa de água, isto é, $T_A > T_B$.

Apesar de ter sido transferida a mesma quantidade de energia (a mesma quantidade de calor) para os dois copos, a água ficou a uma temperatura mais elevada no caso em que a massa é menor.

Conclusão: massas diferentes da mesma substância sofrem diferentes variações de temperatura se a cada uma delas for fornecida a mesma quantidade de calor.

Experiência

O aquecimento de um corpo depende da substância

Material

- Três fontes iguais de calor
- Três copos de precipitação de 250 ml
- Três termómetros

Procedimento

1. Etiquetar os copos com rótulos I, II e III. No copo I colocar 50 g de água da torneira. No copo II colocar 100 g de água da torneira. No copo III colocar 100 g de óleo de cozinha.
2. Deixar que os líquidos atinjam a temperatura ambiente. Usando os termómetros, medir a temperatura de cada um dos líquidos dos copos.
3. Usando uma fonte de calor proceder ao aquecimento da água contida no copo I, durante 2 minutos. Registar a temperatura da água depois do aquecimento.

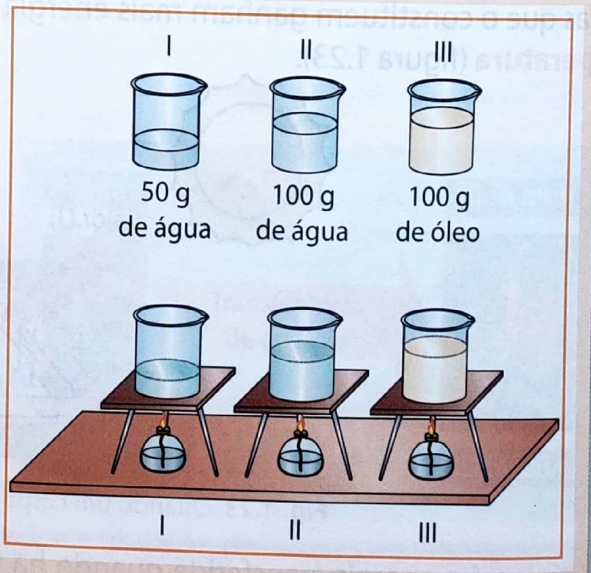


Fig. 1.25 Montagem experimental

Digitalizado com CamScanner

4. Proceder ao aquecimento, durante igual intervalo de tempo, da água contida no copo II. Registar a temperatura da água depois do aquecimento.
5. Proceder de igual forma com o óleo contido no copo III. Registar também a sua temperatura depois do aquecimento.
6. Preencher os dados recolhidos na tabela abaixo.

Copo	Substância	Massa (g)	T_i (°C)	T_f (°C)	Conclusões
I	Água	50			Quantidades diferentes da mesma substância sofrem variações de temperatura diferentes quando lhes fornecemos a mesma quantidade de energia. Quantidades iguais de substâncias diferentes sofrem variações de temperatura diferentes quando lhes fornecemos a mesma quantidade de energia.
II	Água	100			
III	Óleo	100			

Responde

1. Foi transferida a mesma quantidade de energia para os três líquidos? Que dados ou factos te permitem tirar essa conclusão?

2. Para o mesmo líquido, em que caso verificas um maior aumento de temperatura? Quando a massa é maior ou quando é menor?

   Em que dados te apoiaste para chegar a essa conclusão?

3. Qual dos líquidos, água ou óleo, aquece mais facilmente?

   Que dados te permitiram chegar a essa conclusão?

4. Em qual dos dois casos seguintes prevês que seja necessário transferir uma maior quantidade de energia?
   - Aquecer 1 kg de água de maneira que a sua temperatura aumente 1 °C.
   - Aquecer 1 kg de óleo de maneira que a sua temperatura aumente 1 °C.

   Em que dados te apoiaste para responder?

Digitalizado com CamScanner

Transmissão de calor por condução, convecção e radiação

Existem três processos físicos diferentes de transmissão da energia como calor: a **condução**, a **convecção** e a **radiação**.

Condução

Já sabes que a temperatura de um corpo se relaciona com a agitação das partículas que o constituem, verificando-se que quanto maior é a temperatura de um corpo maior é a agitação das suas partículas.

No entanto, o aumento da agitação das partículas que constituem um corpo quando este é aquecido não é instantâneo em toda a sua extensão: as partículas da zona que contacta directamente com o corpo mais quente recebem o calor e começam a agitar-se mais, colidindo mais com as partículas vizinhas e transmitindo-lhes a sua energia.

O processo ocorre sucessivamente até à elevada agitação das partículas se ter estendido à totalidade do corpo. Este processo de propagação de calor ao longo de um corpo é chamado **condução** (figura 1.26).

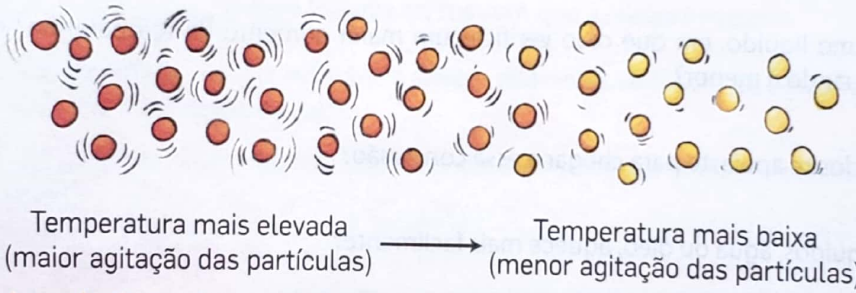


Fig. 1.26 A condução consiste na propagação da agitação das partículas através de um corpo.

Condução é uma forma de a energia se transferir como calor, quando se põem dois materiais sólidos em contacto, ou quando a energia se propaga no interior de um material sólido.

Neste processo, a energia vai-se transferindo gradualmente da parte mais quente do objecto para a parte menos quente. Cada partícula que constitui o material vai transferir energia à sua vizinha, «conduzindo» a energia de um lado ao outro do objecto, mas as partículas não «viajam» de uma ponta à outra.

É por este processo físico que a energia é transferida, como calor, da água para o nosso corpo, quando se usa um saco de água quente, ou do nosso corpo para o gelo, quando se usa um saco de gelo.

A condução permite também explicar alguns fenómenos do nosso dia-a-dia. Por exemplo, quando mexemos um cozinhado com uma colher metálica ao fim de pouco tempo sentimos a mão quente, devido à agitação das partículas do cozinhado já se ter propagado até à extremidade da colher que seguramos. Já se actuarmos do mesmo modo com uma colher de madeira verificamos que esta demora muito mais tempo a aquecer (figura 1.27). Porquê?

Digitalizado com CamScanner

Isto acontece porque nem todos os materiais transferem rapidamente a energia.

Há materiais, a que se chama **bons condutores térmicos**, que transferem rapidamente a energia por condução. Noutros, essa transferência é muito mais lenta e, por isso, são chamados **maus condutores térmicos**.

Como o metal é um bom condutor térmico, a energia é transferida com muita rapidez, justificando a sensação que experimentamos.

Na tabela 3 apresentam-se alguns exemplos de bons e de maus condutores térmicos.



Fig. 1.27 Uma colher metálica conduz muito mais facilmente o calor do que uma colher de madeira.

Tabela 3: Bons e maus condutores térmicos

Bons condutores térmicos	Maus condutores térmicos
Cobre	Vidro
Alumínio	Cortiça
Ferro	Madeira
Bronze	Papel
Prata	Seda
Chumbo	Plástico

A **condutividade térmica** é uma grandeza física que está relacionada com a facilidade com que um material conduz o calor por condução. Quanto maior for o valor da condutividade térmica de um material, melhor condutor esse material será.

Assim, por exemplo, o valor da condutividade térmica será mais elevado para o cobre do que para o vidro, pois o cobre é um bom condutor térmico enquanto o vidro é um mau condutor.

Na tabela 4 apresenta-se a condutividade térmica (k) de alguns materiais.

Tabela 4: Condutores térmicos

Material	Condutividade térmica (W/m°C)
Prata	427
Cobre	397
Alumínio	238
Ferro	80
Vidro	0,8
Água	0,6
Borracha	0,2
Madeira	0,08
Cortiça	0,04
Ar	0,023

O conhecimento do valor da condutividade térmica dos diferentes materiais é muito importante, pois permite escolher quais os materiais adequados a diferentes funções do dia-a-dia. Se é desejável que um material propague bem o calor utiliza-se um material que tenha uma elevada condutividade térmica (bom condutor), como é o caso do cobre. E se, pelo contrário, é desejável

Digitalizado com CamScanner

que um material propague mal o calor, utiliza-se um material que tenha uma baixa condutividade térmica (mau condutor), como é o caso da borracha ou da baquelite.

É por este motivo que as panelas são metálicas, mas as suas asas são de baquelite, cuja condutividade térmica é cerca de mil vezes inferior à dos metais. Assim, aquecem rapidamente os alimentos, mas não as asas onde colocas as mãos. É também por este motivo que muitos outros utensílios têm pegas de plástico ou são de madeira (figura 1.28).



Fig. 1.28 As asas da panela e a colher são feitas de materiais maus condutores.

Experiência

Transferência de energia por condução

Material

- Uma vareta metálica
- Lamparina de álcool (ou bico de Bunsen)
- Pioneses
- Cera
- Tripé

Procedimento

1. Cobrir a vareta metálica com cera e «colar-lhe» pioneses (figura 1.29). A distância entre os pioneses deve ser igual.
2. Fixar a vareta metálica num tripé, na posição horizontal.
3. Com a chama da lamparina (ou do bico de Bunsen) aquecer suavemente uma das extremidades da vareta e observar o que acontece com os pioneses.

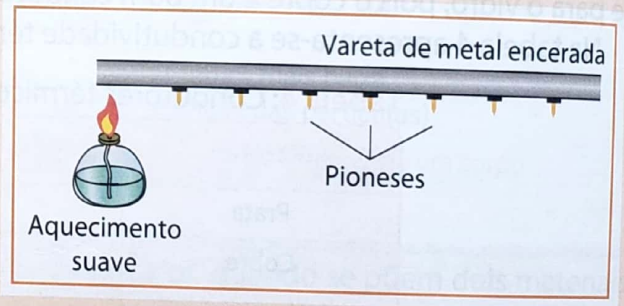


Fig. 1.29 Montagem experimental

O que observas?

Elabora um pequeno relatório no qual devem constar:

- Os procedimentos escolhidos.
- As observações realizadas.
- A interpretação das observações efectuadas.

A condução também ocorre nos líquidos e nos gases. No entanto, a maior parte deles são maus condutores térmicos. Se consultarmos a tabela 4 constatamos que o ar tem uma condutividade térmica muito reduzida. No entanto, se acendermos uma lareira numa sala fechada, em pouco tempo conseguiremos aquecer o ar que lá se encontra. Esta aparente contradição pode ser facilmente explicada, pois apesar da condução de calor no ar ser difícil, esta é acompanhada de um outro processo de transmissão de calor característico dos gases e líquidos: a **convecção**.

Digitalizado com CamScanner

que um material propague mal o calor, utiliza-se um material que tenha uma baixa condutividade térmica (mau condutor), como é o caso da borracha ou da baquelite.

É por este motivo que as panelas são metálicas, mas as suas asas são de baquelite, cuja condutividade térmica é cerca de mil vezes inferior à dos metais. Assim, aquecem rapidamente os alimentos, mas não as asas onde colocas as mãos. É também por este motivo que muitos outros utensílios têm pegas de plástico ou são de madeira (figura 1.28).



Fig. 1.28 As asas da panela e a colher são feitas de materiais maus condutores.

Experiência

Transferência de energia por condução

Material

- Uma vareta metálica
- Lamparina de álcool (ou bico de Bunsen)
- Pioneses
- Cera
- Tripé

Procedimento

1. Cobrir a vareta metálica com cera e «colar-lhe» pioneses (figura 1.29). A distância entre os pioneses deve ser igual.
2. Fixar a vareta metálica num tripé, na posição horizontal.
3. Com a chama da lamparina (ou do bico de Bunsen) aquecer suavemente uma das extremidades da vareta e observar o que acontece com os pioneses.

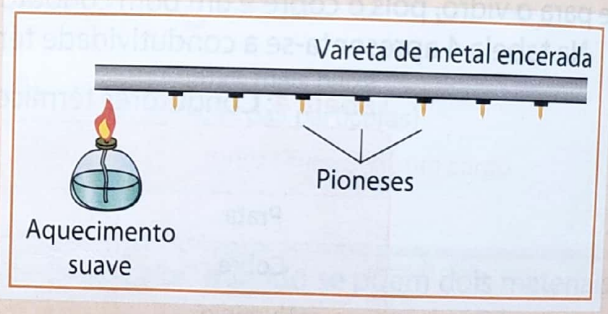


Fig. 1.29 Montagem experimental

O que observas?

Elabora um pequeno relatório no qual devem constar:

- Os procedimentos escolhidos.
- As observações realizadas.
- A interpretação das observações efectuadas.

A condução também ocorre nos líquidos e nos gases. No entanto, a maior parte deles são maus condutores térmicos. Se consultarmos a tabela 4 constatamos que o ar tem uma condutividade térmica muito reduzida. No entanto, se acendermos uma lareira numa sala fechada, em pouco tempo conseguiremos aquecer o ar que lá se encontra. Esta aparente contradição pode ser facilmente explicada, pois apesar da condução de calor no ar ser difícil, esta é acompanhada de um outro processo de transmissão de calor característico dos gases e líquidos: a **convecção**.

Digitalizado com CamScanner

Convecção

Convecção é uma forma de transferência de energia como calor que ocorre nos líquidos e nos gases e em que a matéria aquecida se desloca.

Como é que acontece a convecção?

O aquecimento de uma amostra de um material, líquido ou gasoso, provoca a sua dilatação, isto é, o aumento do seu volume. Como a massa da amostra continua a mesma, um aumento de volume faz diminuir a densidade do material, uma vez que a densidade se refere à massa por unidade de volume. Mas esta variação de densidade não ocorre, ao mesmo tempo, em toda a amostra.

Quando se aquece um material a parte mais próxima da fonte de aquecimento aumenta rapidamente de volume e torna-se menos densa. Devido a este facto, essa parte do material sobe, num líquido ou num gás, sendo o seu lugar ocupado por material não aquecido. Estabelecem-se, assim, «correntes ascendentes», de material mais quente, e «correntes descendentes», de material mais frio: são as **correntes de convecção**.

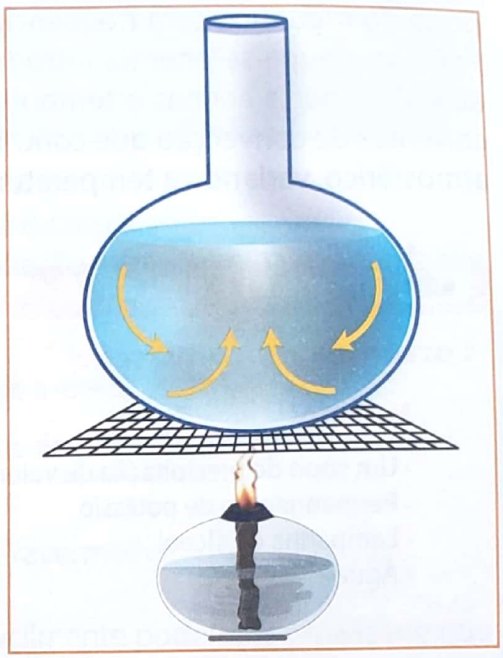


Fig. 1.30 As camadas inferiores do líquido aquecem mais rapidamente e, por isso, a sua densidade diminui, fazendo com que tendam a subir, acontecendo o inverso com as camadas superiores.

A convecção é um processo de propagação de calor que, contrariamente ao que acontece com a condução, não se baseia na transmissão de energia partícula a partícula, mas sim no **deslocamento de partículas com maior agitação** das **zonas mais quentes** para as **zonas mais frias**, aquecendo-as.

No processo da convecção é o transporte de matéria que provoca a transferência de energia como calor entre camadas de líquidos ou gases a temperaturas diferentes.

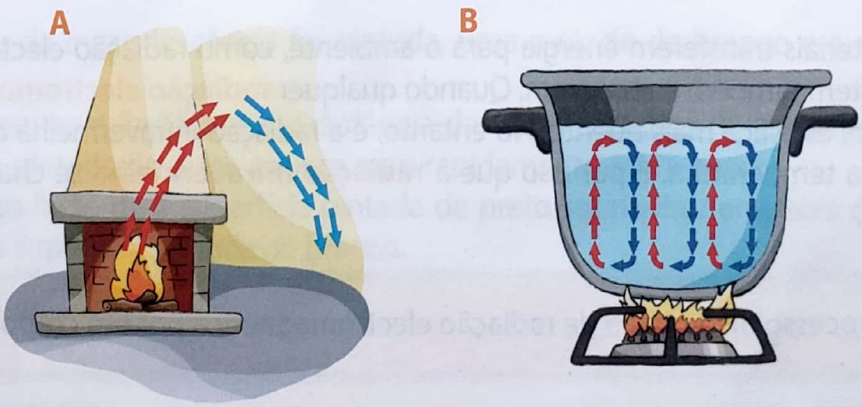


Fig. 1.31 As correntes de convecção ocorrem quer em gases (**A**) quer em líquidos (**B**).

Digitalizado com CamScanner

É por convecção que se consegue, por exemplo, a ventilação de uma sala, a extracção do fumo pelas chaminés, o aquecimento central por sistema de água quente e o arrefecimento dos alimentos no frigorífico. Se introduzirmos alimentos quentes no frigorífico aumentam as correntes de convecção e o aparelho é «obrigado» a «trabalhar» mais. O mesmo se passa se se abrir a porta do frigorífico com frequência ou se se deixar mal fechada. Por isso, poupa-se energia introduzindo os alimentos já frios e abrindo a porta apenas o tempo indispensável. Também são as correntes de convecção que contribuem para o estado do tempo atmosférico, variando a temperatura do ar num dado local.



Fig. 1.32 A chaminé expele o fumo por convecção.

Experiência

Correntes de convecção

Material

- Um copo de precipitação de volume mínimo 250 ml
- Permanganato de potássio
- Lamparina de álcool
- Água

Procedimento

1. Colocar água dentro do copo de forma que este fique quase cheio.
2. Introduzir um cristal de permanganato de potássio dentro de água, de forma que ele fique na posição indicada na figura 1.33.
3. Iniciar o aquecimento do copo, lentamente e como a figura sugere.
4. Observar o que acontece na água.

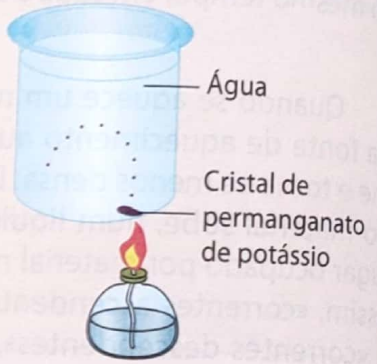


Fig. 1.33 Montagem experimental

O que observas?

Verifica-se a formação de zonas de «correntes ascendentes» e a formação de zonas de «correntes descendentes», até que a água fique com a cor totalmente uniforme.

Radiação

Todos os materiais transferem energia para o ambiente, como radiação electromagnética. Mas, assim como a emitem também a absorvem. Quando qualquer **radiação electromagnética** é absorvida por um objecto, este fica mais quente. No entanto, é a radiação infravermelha a responsável pelo maior aumento da temperatura. É por isso que à **radiação infravermelha** se chama, muitas vezes, **radiação térmica**.

Radiação é o processo de emissão de radiação electromagnética por um corpo quente.

Ao contrário da convecção e da condução, a radiação é um mecanismo de propagação de energia que ocorre mesmo no vazio, pois não precisa de um meio material para se propagar:

Digitalizado com CamScanner

propaga-se através de radiações electromagnéticas que transportam energia. É exemplo disso a forma como a energia é transferida do Sol para a Terra (figura 1.34).

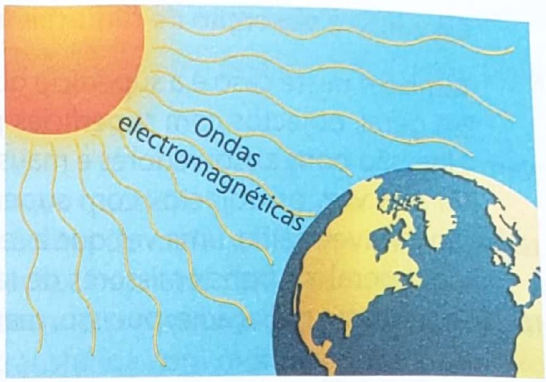


Fig. 1.34 A radiação ocorre no vazio.

O Sol é a fonte fundamental de radiação infravermelha da Terra. Mas a própria Terra, os irradiadores, as lareiras, os animais e os próprios seres humanos também emitem radiações infravermelhas. Todos os corpos que se encontram a uma temperatura superior à temperatura exterior emitem radiações electromagnéticas, mas a quantidade de energia transportada por estas radiações depende da temperatura a que se encontra o corpo.

A experiência mostra que um corpo emite tanto mais radiação infravermelha quanto maior for a temperatura a que ele se encontra.

Na radiação, é muito importante a superfície do material que a emite. Assim,

- as superfícies pretas não polidas são as melhores emissoras de radiação infravermelha;
- as superfícies polidas e espelhadas são as piores emissoras;
- as superfícies brancas também emitem pouca radiação infravermelha.

Podemos comprovar este facto com uma actividade que facilmente poderemos realizar e que é representada pela figura 1.35.

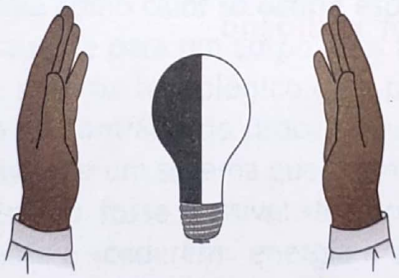


Fig. 1.35 A radiação emitida é diferente nos casos das superfícies branca e negra.

Uma lâmpada de incandescência foi pintada, uma metade de branco e a outra metade de preto.

Se se colocarem as mãos à mesma distância das duas metades da lâmpada acesa, sente-se que a mão do lado pintado de preto aquece mais rapidamente que a outra.

Isto deve-se ao facto de a superfície pintada de preto ser melhor emissora de radiação infravermelha do que a superfície pintada de branco.

Digitalizado com CamScanner

E quanto à absorção de radiação infravermelha?

Também neste caso é a superfície do objecto o factor determinante.

Em geral, objectos com superfícies pretas não polidas absorvem muito bem a radiação infravermelha; são bons absorvedores e maus reflectores.

Por sua vez, os objectos com superfícies polidas e espelhadas são os que pior absorvem a radiação infravermelha, uma vez que a reflectem; são maus absorvedores e bons reflectores.

Regra geral, os bons emissores de radiação térmica são os que também são bons absorvedores dessa mesma radiação e, por isso, maus reflectores.

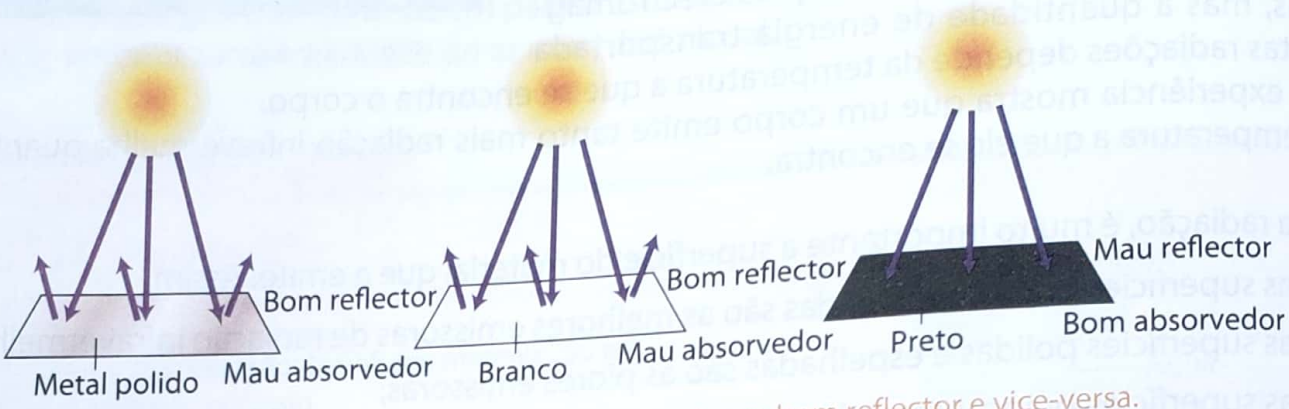


Fig. 1.36 A um mau absorvedor corresponde um bom reflector e vice-versa.

Experiência

Transferência de energia por radiação

Material

- Dois copos de precipitação altos
- Cartolina preta
- Papel metalizado
- Termómetro
- Água

Procedimento

1. Colocar água nos dois copos e registar a sua temperatura inicial.
2. Envolver os copos, um com cartolina preta e o outro com papel metalizado (figura 1.37).
3. Colocar os dois copos assim tapados ao Sol durante uma hora. Findo esse tempo, medir a temperatura da água dos dois copos.

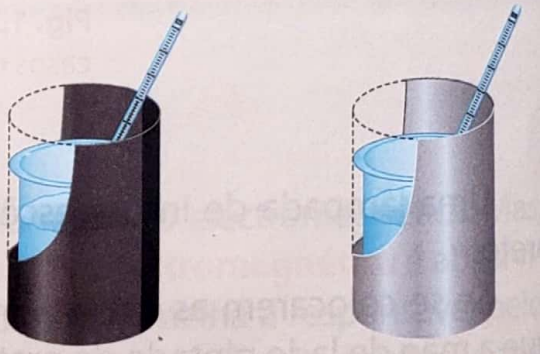


Fig. 1.37 Montagem experimental

O que observas?

A temperatura da água no copo envolvido na cartolina preta é superior à temperatura da água do outro copo. A cartolina preta absorve a energia que lhe é transferida por radiação, enquanto que o papel metalizado a reflecte.

Digitalizado com CamScanner

Física no dia-a-dia

Condução, convecção e radiação

A condução permite explicar alguns fenómenos do nosso quotidiano.

Por exemplo, se mexermos um cozinhado com uma colher de metal ou com uma colher de madeira (colher de pau), não sentiremos a mesma sensação. Depressa teremos uma sensação dolorosa quando usamos a colher de metal, não acontecendo o mesmo com a colher de pau. Como o metal é um bom condutor térmico, a energia é transferida com muita rapidez e permite perceber a sensação que experimentamos.

É por convecção que se consegue, por exemplo, a ventilação de uma sala, a tiragem das chaminés, o aquecimento central por sistema de água quente, o aquecimento de uma sala com um aquecedor ou lareira e o arrefecimento dos alimentos no frigorífico.

Vejamos como funciona um frigorífico.

O objectivo de um frigorífico é «arrefecer» os alimentos a temperaturas inferiores às do ambiente (figura 1.38). Quando colocamos um alimento no frigorífico ele está à temperatura ambiente mas ao fim de algum tempo estará a uma temperatura mais baixa.

Mas a transferência de energia como calor só ocorre espontaneamente de um corpo mais quente para um corpo mais frio.

Por isso, o frigorífico é um sistema tecnológico que, para arrefecer os alimentos, funciona ao contrário do processo natural. Sendo assim foi necessário inventar um sistema que permitisse que, à custa de consumo eléctrico, fosse possível «forçar» os alimentos à temperatura ambiente a «cederem» energia a esse mesmo meio ambiente.

Para isso, utiliza-se um líquido que circula em tubagens próprias, situadas próximo das paredes do congelador. Este líquido passa a vapor dentro dos tubos à custa da energia «cedida» pelos alimentos ao arrefecerem (e ao congelarem também).

Uma vez na forma de vapor, este fluido é conduzido para um compressor, aumentando a sua pressão sob a acção de um motor eléctrico.

Devido ao aumento de pressão, o vapor é obrigado a passar novamente ao estado líquido (condensa), libertando energia como calor para o ambiente (corresponde à zona do condensador, que é a grelha do frigorífico). De seguida, o líquido reinicia a sua passagem pela zona do vaporizador (junto ao congelador) onde o ciclo continua (figura 1.39).

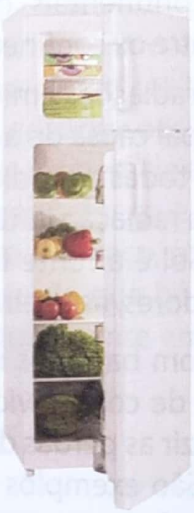


Fig.1.38 Frigorífico

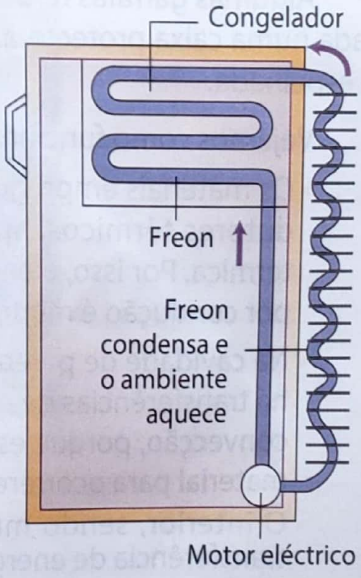


Fig. 1.39 Esquema relativo ao funcionamento de um frigorífico

Digitalizado com CamScanner

Em nossas casas, por exemplo, o ar em torno dos aquecedores ou da lareira aquece. O ar ao aquecer aumenta rapidamente de volume (expande-se), o que o torna menos denso e sobe, arrefecendo em contacto com o tecto e as paredes frias.

O ar frio, mais denso, desce, entretanto, e é de novo aquecido junto dos aquecedores ou da lareira, tornando-se menos denso e subindo de novo.

Estabelecem-se assim «correntes ascendentes», de material mais quente, e «correntes descendentes», de material mais frio: são as correntes de convecção. Os aquecedores devem ficar o mais próximo possível das janelas exteriores, para que durante a subida de ar quente, seja aquecido o ar frio que se encontra junto dos vidros.

São também correntes de convecção do ar as brisas marítimas e continentais, que ocasionam as trocas de energia como calor entre os continentes e os oceanos.

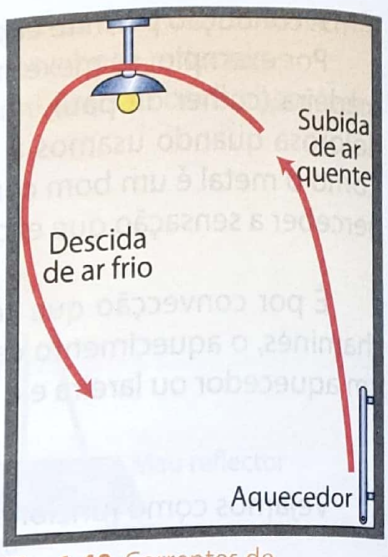


Fig. 1.40 Correntes de convecção numa sala

As radiações emitidas pelos aquecedores e pelas lareiras são a principal causa do aquecimento do ar e das pessoas à sua volta.

De todas as radiações, a que transfere mais energia como calor é a radiação infravermelha.

O Sol é a fonte fundamental de radiação infravermelha da Terra. Mas a própria Terra, os aquecedores, as lareiras, os animais e as pessoas são emissores de radiações infravermelhas.

É com base nos mecanismos de condução, convecção e radiação bem como nos conhecimentos de condutividade térmica de alguns materiais, que se estudam os melhores processos de reduzir as perdas de energia, em algumas situações.

São exemplos disso a construção de termos, sacos e malas térmicas, que usamos para, durante algum tempo, manter constante a temperatura dos alimentos.

Algumas garrafas térmicas são constituídas por uma garrafa de vidro de parede dupla, encerrada numa caixa protectora. Na cavidade entre os vidros é feito o vácuo e a sua superfície interior é espelhada.

Vejamos como funcionam:

- Os materiais empregues na parte exterior são maus condutores térmicos, apresentando baixa condutividade térmica. Por isso, a energia que se transfere através deles por condução é muito pequena.
- Na cavidade de parede dupla é feito o vácuo. Assim, não há transferências de energia nem por condução nem por convecção, porque estes mecanismos necessitam de um material para ocorrerem.
- O interior, sendo muitas vezes espelhado, impede a transferência de energia por radiação.

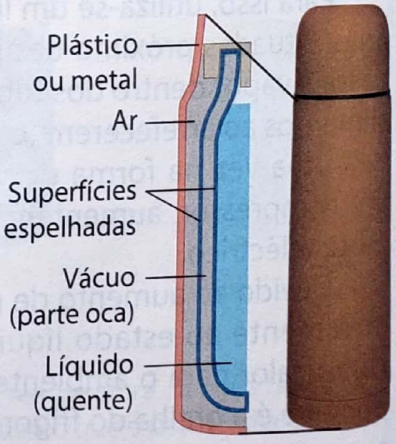


Fig. 1.41 Garrafa térmica (em corte)

Deste modo, a temperatura dos alimentos colocados dentro desses termos vai variando muito lentamente e, por isso, são utilizados para conservar os líquidos à temperatura desejada.

Digitalizado com CamScanner

Efeitos do calor na Natureza

A atmosfera é uma fina camada de gases que envolve a Terra e cuja presença é fundamental para a existência de vida. Para além de conter um gás chamado ozono, que protege a Terra das radiações nocivas do Sol (radiação ultravioleta), a atmosfera desempenha um papel fundamental na conservação de parte da energia recebida pelo Sol sob a forma de calor.

Com efeito, a radiação solar que atravessa a atmosfera terrestre é em pequena parte aí absorvida, enquanto a parte restante atinge a superfície terrestre.

Parte dessa energia que chega à superfície é reflectida e outra parte é absorvida pelos continentes e oceanos. Por outro lado, parte da energia absorvida é reenviada para a atmosfera, que assim absorve mais um pouco dessa radiação. A restante radiação é enviada para o espaço.

A atmosfera funciona, portanto, como uma estufa, ao deixar entrar grande parte da radiação solar e a não deixar sair toda a radiação reenviada pela superfície terrestre. Deste modo, a atmosfera permite a existência de uma temperatura amena na superfície terrestre. A este fenómeno chama-se **efeito de estufa** e é um dos principais **efeitos do calor na Natureza**.

A composição da atmosfera, principalmente azoto, oxigénio, dióxido de carbono, vapor de água e metano, faz com que apenas uma parte dos raios solares atinja a superfície terrestre durante o dia, garantindo ao nosso planeta calor e luz mas protegendo-o de radiações nocivas.

O efeito de estufa é benéfico para a vida na Terra, pois impede que a sua superfície arrefeça, demasiadamente, na ausência de radiação solar. Durante o dia o solo absorve calor, que se liberta durante a noite e é a atmosfera que impede que esse calor se escape para o espaço, o que tornaria a superfície da Terra gélida. O efeito de estufa tem-se feito sentir desde que há vida no nosso planeta, pois o dióxido de carbono e o metano são produzidos naturalmente em consequência das actividades biológicas dos seres vivos.



Fig. 1.42 A atmosfera é responsável pela existência do efeito de estufa.

Digitalizado com CamScanner

Mas o ser humano está a aumentar o efeito de estufa com a produção excessiva de alguns gases, nomeadamente dióxido de carbono resultante de actividades industriais e de transportes, bem como dos grandes incêndios florestais (figura 1.43).



Fig. 1.43 O dióxido de carbono libertado nas indústrias contribui para o efeito de estufa.

Para além dos efeitos originados pelo excesso de dióxido de carbono na atmosfera, há ainda que ter em conta outros poluentes que embora não contribuam directamente para este problema, o fazem de modo indirecto.

É o caso dos **óxidos de enxofre** (SO_2) e dos **óxidos de azoto** (NO_x), que conduzem ao aparecimento de chuvas ácidas que destroem colheitas e parte da flora terrestre, reduzindo por isso o consumo fotossintético de dióxido de carbono pelas plantas. É também o caso dos **CFCs**, que ao destruir o ozono atmosférico, originam o buraco de ozono e contribuem para um aumento das radiações solares nocivas (radiações ultravioletas) que atingem a superfície terrestre, o que conduz a que a exposição solar deve ser reduzida de modo a evitar o risco de cancro da pele. O chamado buraco de ozono, de facto não é um buraco, mas sim uma diminuição, em alguns sítios, da camada de ozono, fenómeno que se deve ao uso abusivo dos clorofluoretos de carbono (ou clorofluorcarbonetos, CFCs) presentes em algumas embalagens de *sprays* ou em sistemas mais antigos de refrigeração (figura 1.44).

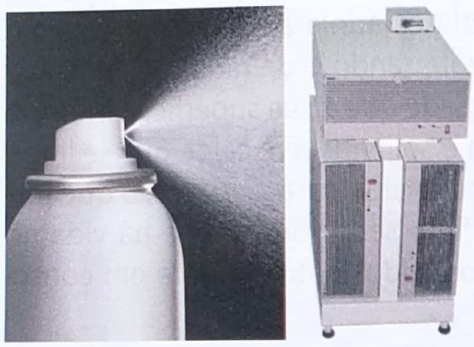


Fig. 1.44 Os clorofluorcarbonetos contribuem para diminuir a camada de ozono.

Combater o aumento do efeito de estufa é um dos maiores desafios que a Humanidade terá de enfrentar: este aumento leva a um **aquecimento global**, ao consequente degelo das calotes polares, ao aumento do nível médio das águas do mar, a inundações das zonas costeiras, a alterações do clima que estão na origem de catástrofes naturais e finalmente à alteração de ecossistemas, com o perigo de extinção de numerosas espécies e aumento de zonas desérticas, com consequências a nível das colheitas agrícolas globais.

Actualmente o problema é preocupante, uma vez que o ritmo de emissão de poluentes não diminui, prevê-se que, até ao fim do século, as temperaturas médias sofram um aumento que pode atingir os 5 °C e que o nível das águas do mar suba até cerca de 1 m.

O aumento do efeito de estufa poderá ser minimizado com uma utilização mais racional das fontes de energia primárias, pois a queima de combustíveis fósseis liberta grandes quantidades de dióxido de carbono para a atmosfera. Outra acção importante é a diminuição da quantidade de CFCs produzida todos os anos.

Por outro lado, como as plantas utilizam o dióxido de carbono do ar na fotossíntese, será também necessário evitar a desflorestação selvagem e, pelo contrário, garantir zonas arborizadas no planeta.

Com o objectivo de travar o aumento do efeito de estufa foi assinado em 1997 o Protocolo de Quioto, a que aderiram até agora 157 países, que limita a emissão de gases que provocam o efeito de estufa para a atmosfera.

Digitalizado com CamScanner

Física no dia-a-dia

Gestão sustentável dos recursos naturais

O ser humano, como ser integrante do meio que o rodeia, está dependente deste para a sua sobrevivência com qualidade de vida.

Contudo, se por um lado, a espécie humana utiliza os recursos naturais (aqueles que estão na Natureza) para sobreviver, por outro, tem obrigação de os preservar, garantindo o futuro da vida no nosso planeta.

Os **recursos naturais** são todos os elementos da Natureza que podem ser usados directa ou indirectamente pelo ser humano para satisfazer as suas necessidades. Inicialmente o ser humano usava os recursos naturais ao seu dispor directamente, mas com o avançar dos tempos a maioria dos recursos naturais começou a ser utilizada de forma indirecta, depois de passar pela indústria transformadora quer sob a forma de **matéria-prima** quer sob a forma de **fonte de energia**.

Os recursos naturais são diversos e podem ser classificados de acordo com as seguintes categorias:

- matérias-primas – por exemplo, os minerais e a biomassa;
- meios ambientais – a água, o ar e o solo;
- recursos circulantes – por exemplo, energias eólica, geotérmica ou solar;
- espaço físico – utilizado para produzir e sustentar os outros recursos.

Depois de usados pelo Homem os recursos naturais podem ser repostos ou não pela Natureza. Quando um recurso natural é reposto pela Natureza num curto espaço de tempo, como é o caso do vento ou dos animais, é chamado **renovável**. Caso o recurso não seja reposto pela Natureza, ou demore tanto tempo a ser reposto que possa ocorrer a sua extinção, como é o caso dos minérios e do petróleo, é chamado **não renovável**.

Actividade

Os recursos naturais mais importantes na tua região

A distribuição dos recursos naturais não é uniforme em todo o planeta ou em todo um país, pois depende de uma série de factores como a situação geográfica, as características geológicas, as condições climáticas, entre outras.

Para que seja possível tirar o melhor contributo dos recursos naturais existentes num determinado país é necessário efectuar estudos que permitam conhecer os recursos nele existentes e as necessidades da população.

Identificar os recursos naturais existentes em Moçambique e em especial na tua região é uma tarefa importante para conheceres melhor as características da zona onde habitas.

A actividade que te propomos, e aos teus colegas, consiste em efectuar um levantamento dos recursos naturais existentes na tua região. Dos recursos existentes na zona do país onde te encontras, poderás escolher um para realizar um estudo mais pormenorizado como, por exemplo:

- abundância;
- método de extracção;
- evolução do método de extracção ao longo dos tempos;
- importância para o desenvolvimento das populações;
- questões ambientais relacionadas com a sua extracção e transformação.

Digitalizado com CamScanner

A extracção e a utilização dos recursos naturais conduzem sempre a uma alteração da Natureza e como tal deve ser feita racionalmente de forma a assegurar a sustentabilidade na Terra. Esta utilização racional dos recursos torna-se mais urgente a cada dia que passa, dado que a população mundial, tal como a sua esperança média de vida, está em crescimento, levando a um consumo cada vez maior dos recursos naturais, com o risco possível de esgotamento das suas reservas como é o caso dos recursos não renováveis (principalmente os minerais, os metais e os combustíveis fósseis – petróleo e carvão). Este risco pode ser atenuado por diversos factores, nomeadamente:

- maior rendimento das matérias-primas;
- a reciclagem;
- a substituição por outros produtos.

É urgente encontrar soluções alternativas, nomeadamente a exploração de fontes de energia renováveis como as provenientes do Sol, do vento, dos oceanos, dos rios e do interior da Terra.

O actual desenvolvimento científico e tecnológico trouxe importantes benefícios para a sociedade. Porém, também trouxe consequências alarmantes para a sustentabilidade da vida na Terra, tais como o aquecimento global, o buraco na camada de ozono, o efeito de estufa, as chuvas ácidas, a poluição atmosférica, a poluição dos oceanos, o esgotamento dos combustíveis fósseis, entre outras.

Um desenvolvimento sustentável significa responder às necessidades do presente sem comprometer a qualidade de vida das gerações futuras.

Para que uma sociedade se desenvolva de forma sustentável deve garantir:

- a satisfação das necessidades básicas de todos (alimentação, saúde, educação, etc.);
- a preservação dos recursos naturais, garantindo a satisfação das necessidades das gerações futuras;
- a participação das populações na preservação do ambiente;
- gerir o desenvolvimento tecnológico de forma equilibrada sem causar danos ambientais irreparáveis.

Um grande passo para a preservação dos recursos naturais passa também por diminuir consideravelmente a poluição.

A despoluição das águas deve ser uma das maiores preocupações do ser humano neste século.

Como sabes a água potável disponível no nosso planeta está a diminuir para níveis assustadores, uma vez que o seu consumo excede a sua capacidade de regeneração. Assim, é urgente conservar e despoluir os rios e os mares.

A poluição das águas pode ter origem urbana, resultante dos esgotos domésticos e das águas residuais urbanas, ou industrial e agrícola, resultante dos efluentes das fábricas, explorações agro-pecuárias ou outras.

Digitalizado com CamScanner

As Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR's) são locais onde as águas residuais são tratadas, de forma a poderem ser lançadas nos cursos naturais de água sem representarem um risco de contaminação e desequilíbrio.

A preservação dos recursos naturais é um problema que não pode ser encarado a nível de cada um dos países, mas sim a nível mundial. Para tal, é necessário que os diversos países desenvolvidos cheguem a acordo sobre as medidas a tomar para a preservação do ambiente.

Actividade

Pesquisa e debate

Em Dezembro de 1997, trinta e oito países industrializados e os da União Europeia, incluindo muitos países africanos, como Moçambique, num total de 150 delegações, estiveram presentes na conferência de Quioto, no Japão, com o objectivo de assinarem um acordo que permita reduzir as emissões de gases poluentes.

Após 11 dias de reuniões, os países participantes acordaram que seriam desenvolvidas estratégias para que, até 2012, fossem reduzidas, em 5,2%, as emissões dos gases que provocam o agravamento do efeito de estufa (dióxido de carbono, metano, óxidos de azoto, CFC's e fluoretos de enxofre).

Para que o Protocolo de Quioto tivesse valor legal teria de ser ratificado por, pelo menos, 55 dos países mais poluidores.

Passados cerca de quatro anos, 180 países reuniram de novo, na conferência de Haia, para chegar a acordo sobre as regras de funcionamento do Protocolo de Quioto, sem grande sucesso.

Tomando como base o Protocolo de Quioto:

- Leva a cabo uma breve pesquisa sobre as negociações internacionais em torno da preservação do ambiente, com especial atenção para as posições assumidas pelos diversos países, nomeadamente os países africanos.
- Em conjunto com os teus colegas, organiza grupos que representem os diversos países.
- Organiza um debate em torno das problemáticas da preservação do ambiente global, em que cada um dos grupos assuma o papel de um país, defendendo as suas posições.

Não te esqueças que, para que o debate decorra da melhor maneira, é necessário que cada grupo escolha um porta-voz e que um aluno faça o papel de moderador do debate.

- Em conjunto, elaborem um relatório da reunião e um acordo para ser assinado por todos os grupos representantes dos diversos países.

Digitalizado com CamScanner

Equilíbrio térmico

Quando é deixado ao ar, qualquer corpo quente arrefece e qualquer corpo frio aquece.

No primeiro caso, há transferência de energia do corpo quente para a sua vizinhança (o ar e outros corpos próximos).

No segundo caso, a transferência de energia dá-se no sentido da vizinhança para o corpo frio.

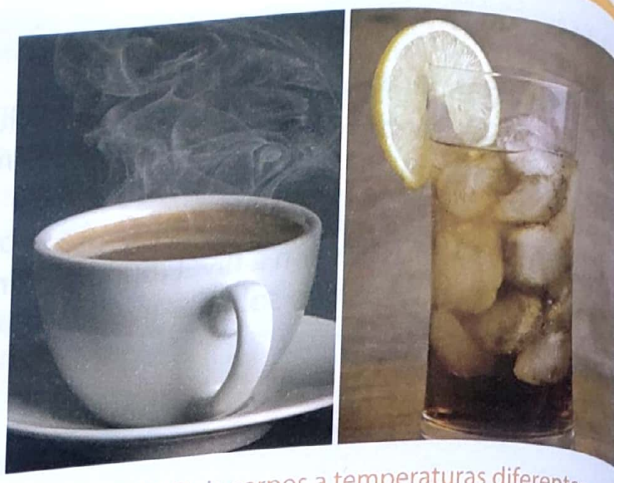


Fig. 1.45 Dois corpos a temperaturas diferentes

A energia transferida entre corpos a temperaturas diferentes é o calor (figura 1.46).

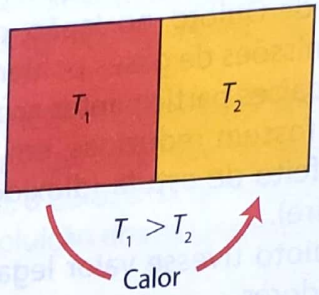
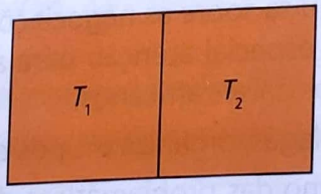


Fig. 1.46 Ocorre transferência de energia sob a forma de calor entre dois corpos a temperaturas diferentes.

As transferências de energia cessam quando a temperatura do corpo e a da sua vizinhança são iguais, o que significa que se atingiu o **equilíbrio térmico**.



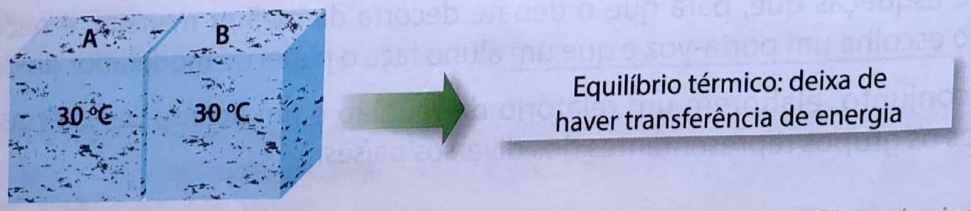


Fig. 1.47 A transferência de energia acaba quando os corpos ficam em equilíbrio térmico.

Dois corpos a temperaturas diferentes, quando em contacto, atingem o equilíbrio térmico, ficando ambos à mesma temperatura.

Digitalizado com CamScanner

O funcionamento dos termómetros baseia-se, ainda, no facto de corpos a temperaturas diferentes atingirem o equilíbrio térmico, quando em contacto.

Por exemplo, quando estamos a medir a temperatura do nosso corpo, o termómetro aquece e o nosso corpo arrefece, até ficarem ambos à mesma temperatura. Essa temperatura é praticamente a do nosso corpo, uma vez que a energia transferida para o termómetro é pequena.

Estes processos são espontâneos, isto é, ocorrem de modo natural, sem serem provocados. O facto de se darem espontaneamente significa que as transferências de energia como calor tendem a ocorrer por si mesmas, num sentido determinado, isto é, de um corpo à temperatura mais elevada para um corpo à temperatura mais baixa, que corresponde a uma tendência natural para que a energia se transfira de modo uniforme pelos sistemas. Quando os sistemas estão à mesma temperatura têm a energia igualmente distribuída e nessa altura cessam as transferências, porque, como já vimos acima, atingem o equilíbrio térmico.

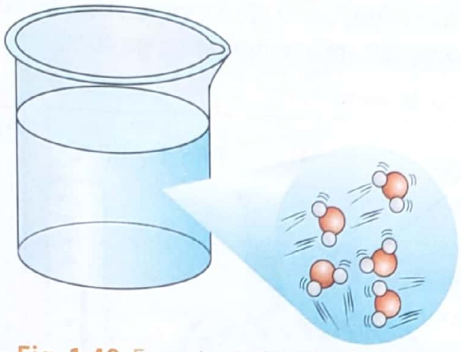


Fig. 1.48 Energia cinética das partículas que constituem os corpos.

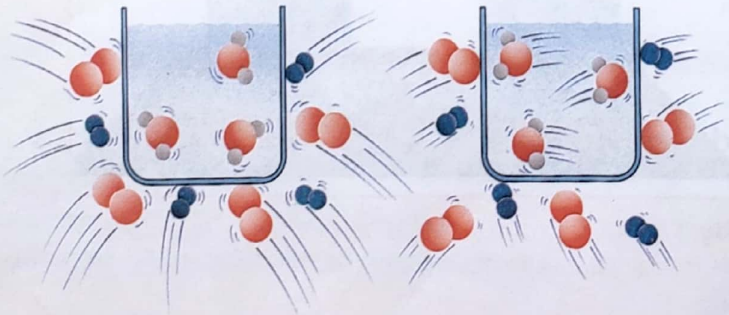
Todos os corpos possuem energia cinética interna devido à agitação (pode ser deslocação, rotação e até vibração) das partículas que os constituem.

Quando um corpo aquece, a energia para ele transferida é repartida pelas suas partículas, que assim aumentam de agitação. A energia cinética média de cada partícula aumenta, o que se traduz num aumento da temperatura do corpo.

Se o corpo arrefece, ele transfere energia para a sua vizinhança. As partículas que o constituem cedem energia, diminuindo a energia cinética média por partícula. A temperatura do corpo desce.

A temperatura de um corpo é uma medida do grau de agitação das suas partículas.

Quando dois corpos, A e B, em contacto atingem o equilíbrio térmico, o grau de agitação das partículas de A e de B é o mesmo.



Antes de se atingir o equilíbrio térmico, as moléculas da água (fria) agitam-se menos do que as do ar.

Logo que a água e o ar em redor atingem o equilíbrio térmico, as moléculas da água e as do ar apresentam o mesmo grau de agitação.

Fig. 1.49 Grau de agitação das partículas antes e depois do equilíbrio térmico.

Digitalizado com CamScanner

Experiência

O equilíbrio térmico

Material

- Três copos de precipitação iguais de 250 ml (I, II e III)
- Um copo de precipitação de 500 ml (IV)
- Dois fogões eléctricos (ou outras duas fontes de calor)
- Termómetros
- Água

Procedimento

1. Medir a mesma massa de água (100 g) para cada copo de 250 ml.
2. Aquecer a água de dois dos três copos (I e II) até à temperatura de 60 °C.
3. Aquecer a água do terceiro copo (III) até à temperatura de 40 °C.

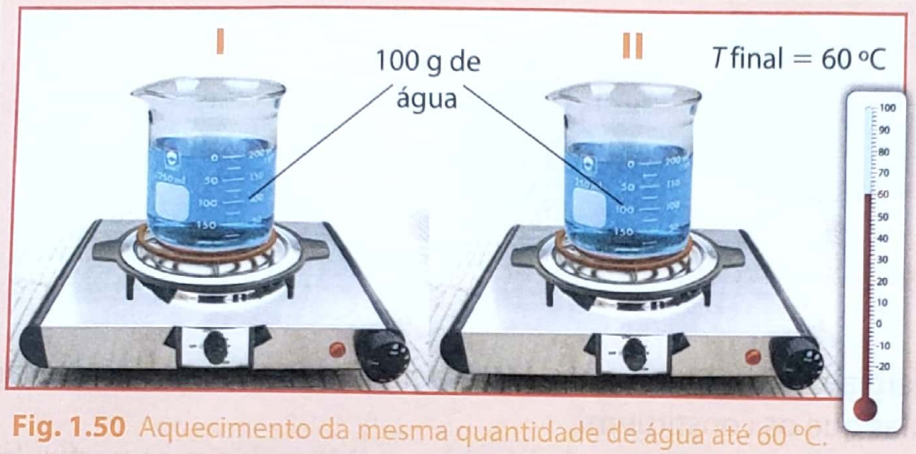


Fig. 1.50 Aquecimento da mesma quantidade de água até 60 °C.



Fig. 1.51 A mesma quantidade de água é aquecida até 40 °C.

4. Deixar arrefecer sobre uma placa de madeira o copo onde se procedeu ao aquecimento até 40 °C (III) e um dos copos onde se aqueceu até 60 °C (I ou II).

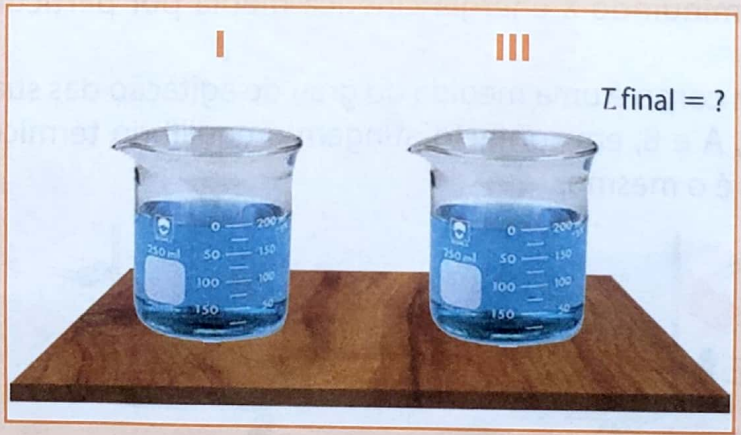


Fig. 1.52 Os copos I e III são colocados sobre uma placa de madeira para arrefecer.

5. Colocar o copo II onde se aqueceu água até 60 °C dentro do copo de 500 ml (IV), contendo água muito fria que pode ter sido arrefecida no frigorífico ou com uma pedra de gelo. Medir a temperatura da mistura água e gelo antes de introduzir o copo com água quente.

Digitalizado com CamScanner

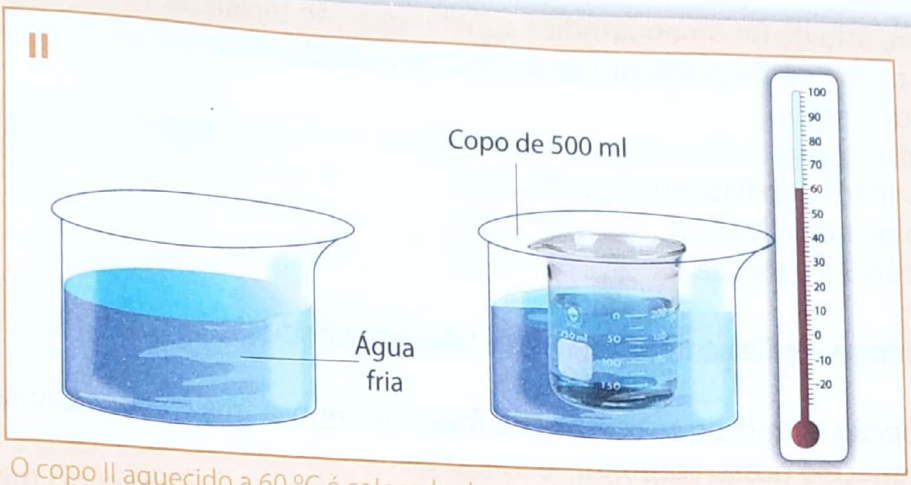


Fig. 1.53 O copo II aquecido a 60 °C é colocado dentro do copo de 500 ml com água muito fria.

6. Medir, em todos os casos, a temperatura da água no copo à medida que arrefece, até que não se verifiquem variações de temperatura. Medir também a temperatura da água no copo de 500 ml.
7. Elabora, com os teus colegas de grupo, tabelas e gráficos.

Responde

1. Discute os resultados obtidos com os teus colegas de grupo.
2. Para que valor de temperatura se atingiu o equilíbrio térmico da água do copo I? Esse valor é igual à temperatura de equilíbrio no caso do copo III? Há alguma razão que explica esse facto?
3. Houve algum facto que evidenciasse que o ambiente recebeu energia? Qual?
4. Que relação existe entre as temperaturas finais da água no copo II e da água no copo de 500 ml? Como explicas essa relação?
5. Qual é a temperatura de equilíbrio térmico da água do copo II? Por que razão é diferente das temperaturas de equilíbrio térmico nos casos dos copos I e III?

Exercícios resolvidos

1. A propriedade que permite decidir se dois ou mais corpos estão em equilíbrio térmico é:
   A. o calor **B.** a massa **C.** o ambiente circundante **D.** a temperatura

Resolução

É verdade que a temperatura é a propriedade que permite decidir se dois ou mais corpos estão em equilíbrio térmico. Opção **D.**

2. Escolhe a opção que completa correctamente a frase que se segue.
   «Atinge-se o equilíbrio térmico entre dois corpos quando…
   A. … o corpo a uma temperatura mais baixa transfere energia, sob a forma de calor, ao corpo a uma temperatura mais alta.»
   B. … eles têm a mesma energia cinética interna.»
   C. … trocam energia até ficarem à mesma temperatura.»

Resolução

Atinge-se o equilíbrio térmico entre dois corpos quando eles têm a mesma energia cinética interna. Opção **B.**

Digitalizado com CamScanner

1. Da seguinte lista de fenómenos indica aqueles que são térmicos.
   A. Queda de um corpo por acção da força da gravidade.
   B. Queda de granizo.
   C. Nevoeiro.
   D. Transformação do leite em iogurte.
   E. Erupção de um vulcão.
   F. Eclipses do Sol e da Lua.

2. Como e onde se verifica a transmissão de calor por condução?

3. Escolhe a opção correcta que completa a frase: «Na época fria, usamos roupas de lã porque...
   A. ... a lã aquece o nosso corpo.»
   B. ... a lã é um bom condutor do calor e assim permite que o calor do meio ambiente nos aqueça.»
   C. ... a lã é um isolante térmico, não permitindo que o calor produzido pelo nosso corpo escape para o meio ambiente.»

4. Usa dois cubos de gelo iguais, A e B. Coloca o cubo A num prato, directamente em contacto com o ar livre, e enrola o cubo B num pano de lã. Qual dos cubos de gelo derrete mais depressa? Justifica a resposta.

5. Caracteriza o processo de transmissão de calor por radiação.

6. Escolhe a opção correcta que completa a frase: «O calor é...
   A. ... a energia transferida entre sistemas que se encontram a temperaturas diferentes.»
   B. ... a energia cinética média de agitação das partículas constituintes do corpo.»
   C. ... a energia transferida desordenadamente entre sistemas que se encontram em equilíbrio térmico.»
   D. ... a temperatura a que um corpo se encontra.»
   E. ... a energia transferida desordenadamente entre sistemas que se encontram a temperaturas diferentes.»

7. Explica como é que as chaminés permitem extrair os fumos de uma sala.

8. Analisa atentamente a figura que mostra um dos efeitos nocivos da dilatação térmica: «A existência de espaços entre os carris de uma linha de caminho-de-ferro permite evitar graves acidentes ferroviários».
   a) Não havendo espaço livre entre os carris, o que acontece à linha de caminho-de-ferro no Verão?
   b) Explica como é que os espaços entre os carris permitem evitar acidentes.



9. Um frasco está munido de uma rolha de vidro que «teima em não sair do gargalo». Aquecendo ligeiramente o gargalo com água quente a rolha sai facilmente. Explica o motivo.

Digitalizado com CamScanner



10. Uma chapa metálica de forma rectangular possui um orifício circular no centro. Se a chapa for aquecida o tamanho do orifício aumenta ou diminui? Justifica a resposta.

11. Converte para as outras duas escalas termométricas as seguintes temperaturas:

a) 45 °C **b)** 100 °C **c)** −15 °C **d)** 20 °C **e)** 0 °C
f) 32 °F **g)** 68 °F **h)** 23 °F **i)** 212 °F **j)** 113 °F
k) 312 K **l)** 250 K **m)** 425 K **n)** 397 K **o)** 245 °C

12. A que temperatura um termómetro Celsius e um termómetro Kelvin indicarão o mesmo valor?

13. Quando Fahrenheit definiu a escala termométrica que hoje tem o seu nome, o primeiro ponto fixo definido por ele foi o 0 °F à pressão de 1 atm. Qual é essa temperatura na escala Celsius?

A. 32 °C **B.** 273 °C **C.** 37,7 °C **D.** 212 °C **E.** −17,8 °C

14. Um estudante construiu uma escala de temperatura °E e atribuiu o valor 0 °E à temperatura equivalente a 20 °C e o valor 100 °E à temperatura equivalente a 104 °F. Quando um termómetro graduado na escala E indicar 25 °E, outro termómetro graduado na escala Fahrenheit indicará:

A. 85 **B.** 77 **C.** 70 **D.** 64 **E.** 60

15. A temperatura de uma certa massa de gás varia de 293 K para 543 K. A variação da temperatura do gás, nessa transformação, medida na escala Fahrenheit, foi de:

A. 250 **B.** 273 **C.** 300 **D.** 385 **E.** 450

16. A temperatura de determinada substância é 50 °F. A temperatura absoluta dessa substância é:

A. 343 **B.** 323 **C.** 310 **D.** 283 **E.** 273

17. Um turista moçambicano, ao desembarcar no aeroporto de Chicago, observou que o valor da temperatura lá indicado, em °F, era um quinto do valor correspondente em °C. O valor observado foi:

A. −2 °F **B.** 2 °F **C.** 4 °F **D.** 0 °F **E.** −4 °F

18. No exercício anterior, um termómetro Celsius colocado no aeroporto de Chicago indicaria:

A. −20 °C **B.** +20 °C **C.** −4 °C **D.** 40 °C **E.** −40 °C

19. Quando se deseja realizar experiências a baixa temperatura, é muito comum a utilização de nitrogénio (azoto) líquido como refrigerante, pois o seu ponto normal de ebulição é de −196 °C. Na escala absoluta, esta temperatura vale:

A. 77 **B.** 100 **C.** 196 **D.** 273 **E.** 469

Digitalizado com CamScanner

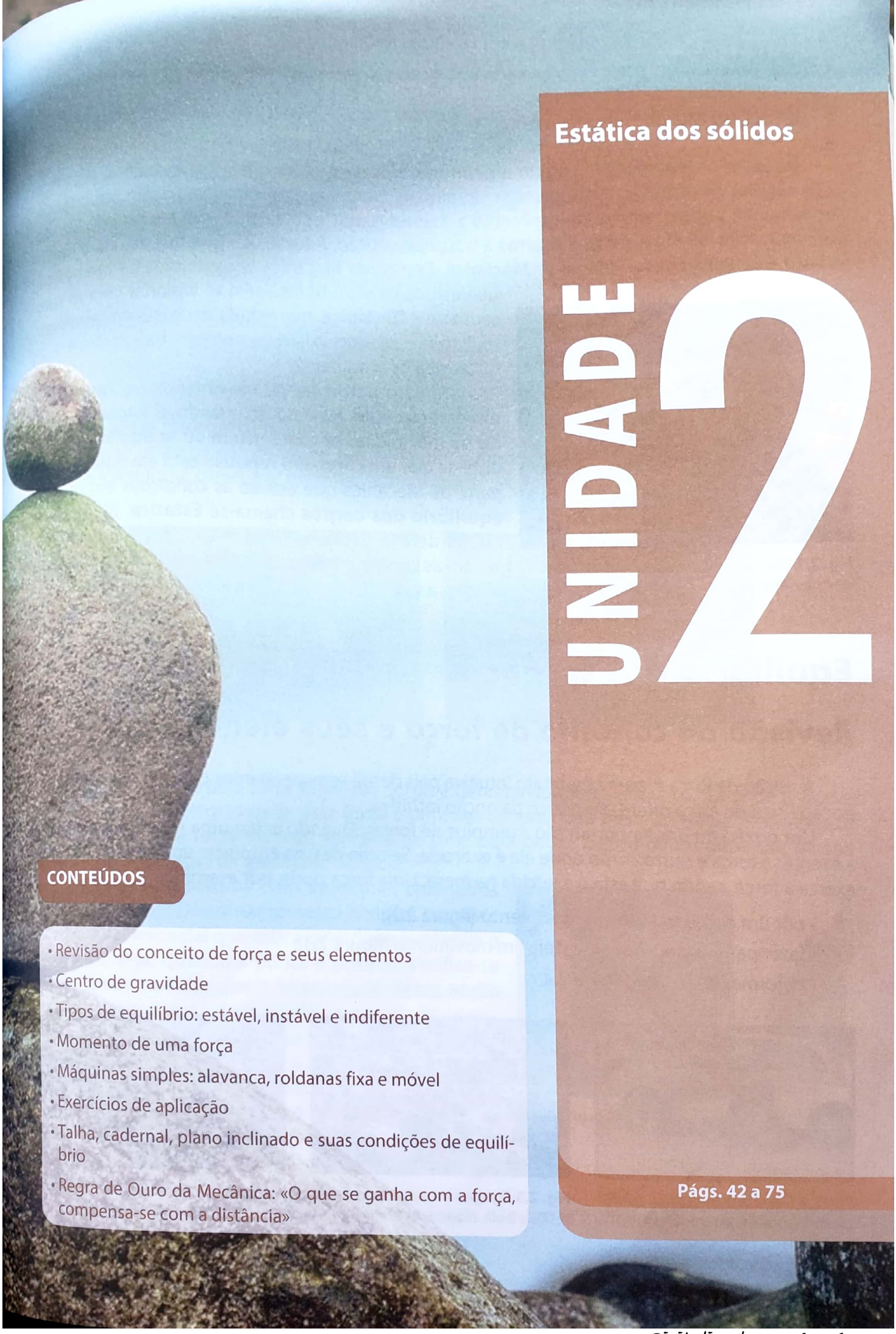


OBJECTIVOS

O aluno deve ser capaz de:

- Indicar as características de uma força.
- Estimar a localização do centro de gravidade de um corpo.
- Identificar os tipos de equilíbrio.
- Caracterizar o equilíbrio estável, instável e indiferente.
- Explicar o efeito do momento de uma força.
- Identificar os diferentes tipos de máquinas simples.
- Explicar as condições de equilíbrio na alavanca e na roldana.
- Calcular o momento de uma força.
- Determinar as condições de equilíbrio das máquinas simples na resolução de exercícios associados a situações reais.
- Explicar as condições de equilíbrio na talha, cadernal e plano inclinado.
- Identificar a aplicação da talha, cadernal e plano inclinado em situações do quotidiano.

Digitalizado com CamScanner



UNIDADE 2

Estática dos sólidos

CONTEÚDOS

- Revisão do conceito de força e seus elementos
- Centro de gravidade
- Tipos de equilíbrio: estável, instável e indiferente
- Momento de uma força
- Máquinas simples: alavanca, roldanas fixa e móvel
- Exercícios de aplicação
- Talha, cadernal, plano inclinado e suas condições de equilíbrio
- Regra de Ouro da Mecânica: «O que se ganha com a força, compensa-se com a distância»

Págs. 42 a 75

Digitalizado com CamScanner

Introdução

De todos os fenómenos físicos, o **movimento dos corpos** é o que mais se destaca, por ser o mais simples de observar. Além de mais simples, os fenómenos do movimento têm importância fundamental porque servem de explicação a inúmeros outros: o calor, o som e a própria luz são consequências de **movimentos ocultos** à nossa percepção. A parte da Física que estuda o **movimento e as suas causas** chama-se **Mecânica**. Dentro da Mecânica encontramos a **Cinemática**, que estuda os movimentos sem se importar com as suas causas, e a **Dinâmica**, que estuda as causas do movimento, isto é, a relação existente entre os movimentos e as forças que os produzem.



Fig. 2.1 Que forças provocam o movimento dos planetas, mas não os deixam cair?

Um caso particular de movimento é o **repouso – movimento nulo**. Há repouso quando as forças causadoras do movimento se **compensam ou se equilibram**. Daí dizer-se que **um corpo em repouso está em equilíbrio**. A parte da Mecânica que estuda as condições em que há **equilíbrio dos corpos** chama-se **Estática**. Segundo o estado de agregação da matéria (no corpo em estudo), variam as condições de equilíbrio e temos: a estática dos sólidos, a estática dos líquidos e a estática dos gases.

Equilíbrio dos corpos

Revisão do conceito de força e seus elementos

A noção de força é, para nós, muito intuitiva pois desde sempre lidamos com ela. No entanto, a noção física de força difere um pouco da noção intuitiva.

Um puxão ou um empurrão são exemplos de forças. Quando actua uma força, há um corpo a exercer a força e outro corpo onde ela é exercida. Se uma pessoa empurrar uma mesa, a pessoa exerce a força, sendo que esta é exercida na mesa. Uma força pode, por exemplo:

- pôr um corpo parado em movimento (figura 2.2);
- fazer parar um corpo que esteja em movimento (figura 2.3);
- deformar um corpo (figura 2.4).

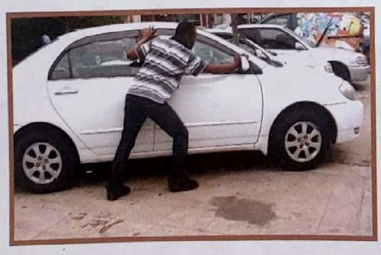


Fig. 2.2 É exercida uma força sobre o carro, pondo-o em movimento.



Fig. 2.3 O jogador exerce uma força sobre a bola, fazendo-a parar.

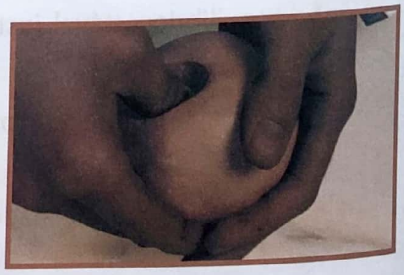


Fig. 2.4 Uma pessoa exerce uma força sobre a bola e deforma-a.

Digitalizado com CamScanner

Em geral, os efeitos das forças sobre um corpo são:

- alterar só o valor da sua velocidade;
- alterar só a direcção do movimento;
- alterar tanto o valor da velocidade como a direcção do movimento;
- provocar deformação.

Assim, podemos definir força através dos efeitos que provoca.

Força é toda a acção capaz de modificar o estado mecânico de um corpo ou de lhe causar deformação.

A grandeza física **força** mede a interacção entre corpos. Esta interacção pode ser exercida por contacto entre os corpos como por exemplo, quando damos um pontapé numa bola, ou exercida à distância, como, por exemplo, a força gravítica exercida entre a Terra e a Lua.

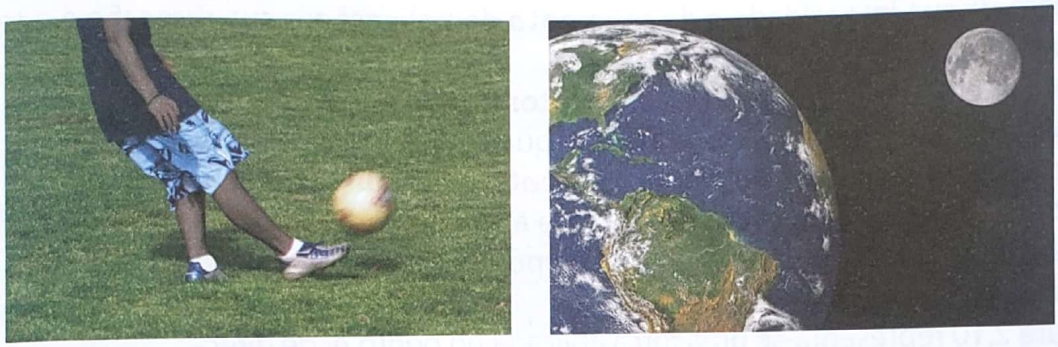


Fig. 2.5 Força de contacto e força à distância

A força exercida pela Terra sobre um corpo é denominada força gravítica, força da gravidade ou simplesmente gravidade. Esta força é também denominada **peso** do corpo. Recordemos que o peso é uma força vertical, aplicada de cima para baixo, cujo módulo depende da sua massa e da aceleração da gravidade do local.

As forças medem-se com aparelhos chamados **dinamómetros**. Um dinamómetro simples consiste numa mola helicoidal que estica quando se suspende o corpo, ou seja, quando a ponta é puxada. Verifica-se então (pela medida) que a intensidade dessa acção local é proporcional à quantidade de matéria do corpo, isto é, colocando-se no gancho do dinamómetro uma porção duas vezes maior que a anterior obtém-se um deslocamento duplo do indicador da balança de mola. Existem muitos tipos de dinamómetros, incluindo dinamómetros digitais. O valor da força é lido numa escala.



Fig. 2.6 Tipos de dinamómetros. O modelo da direita é digital.

A unidade de força no Sistema Internacional de Unidades é o newton (N), em homenagem a Isaac Newton.

Contudo, quando nos referimos a uma força, não basta indicarmos a sua intensidade. Vamos ver.

Digitalizado com CamScanner

Imagina que um colega teu aplicava uma força sobre uma caixa de madeira e te indicava que a sua intensidade era 5 N.

Esta força poderia ter sido aplicada de formas diferentes, por exemplo:

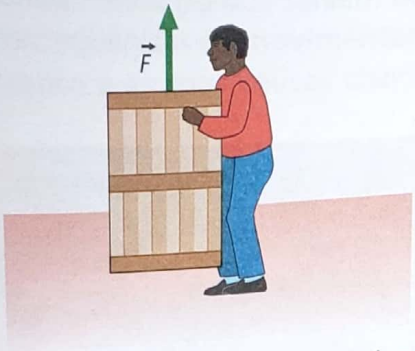


Fig. 2.7 Na vertical, puxando a caixa para cima.

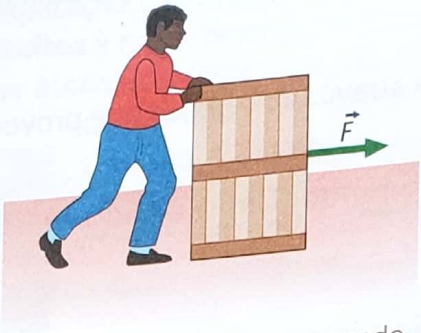


Fig. 2.8 Na horizontal, empurrando a caixa da esquerda para a direita.

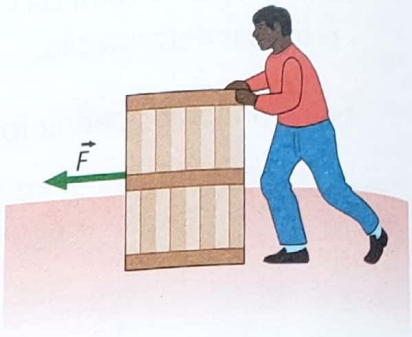


Fig. 2.9 Na horizontal, empurrando a caixa da direita para a esquerda.

Estes são alguns exemplos que te mostram que **para descrever uma força** temos de indicar, para além da sua intensidade e do seu **ponto de aplicação**, a sua **direcção** e o seu **sentido**. A força é uma grandeza vectorial.

A força deve ser representada por um **vector** ($\vec{F}$), cuja **direcção** nos indica a linha segundo a qual a força actua e que se designa por **linha de acção da força**; o sentido do vector é o **sentido em que a força é exercida**; o comprimento do vector representa a **intensidade da força** numa escala previamente estabelecida e o ponto de aplicação é o **ponto onde a força é exercida**.

Na figura 2.10 representa-se uma força aplicada no ponto A, de direcção horizontal, sentido da direita para a esquerda e intensidade 5 N.

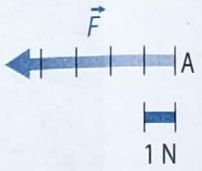


Fig. 2.10 Representação de uma força.

Sistema de forças e a sua resultante

Sobre um corpo podem actuar ao mesmo tempo várias forças: $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, $\vec{F}_4$, etc.

Ao conjunto de todas as forças que actuam sobre um corpo dá-se o nome de **sistema de forças**.

Cada uma das forças, que actua individualmente sobre o corpo, produz nele um certo efeito. Todas as forças do sistema, que actuam em simultâneo, produzem no corpo uma espécie de **efeito combinado** ou **efeito resultante**. Existe uma força que, **sozinha**, produz o **efeito resultante** de todas as outras forças do sistema.

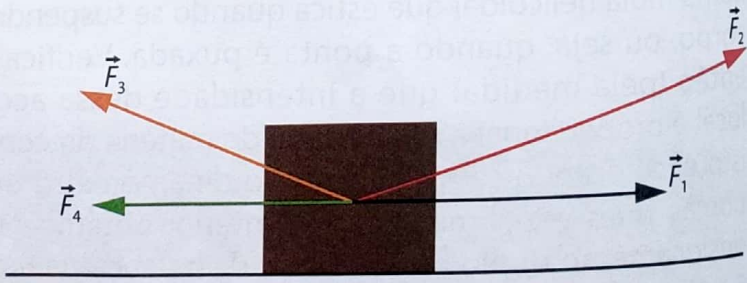


Fig. 2.11 Sistema de forças que actuam sobre um corpo.

Força resultante ou resultante ($\vec{F}_R$) é a força única capaz de, por si só, provocar o mesmo efeito de todas as forças do sistema em simultâneo.

Digitalizado com CamScanner

Sistema de forças com a mesma direcção e o mesmo sentido

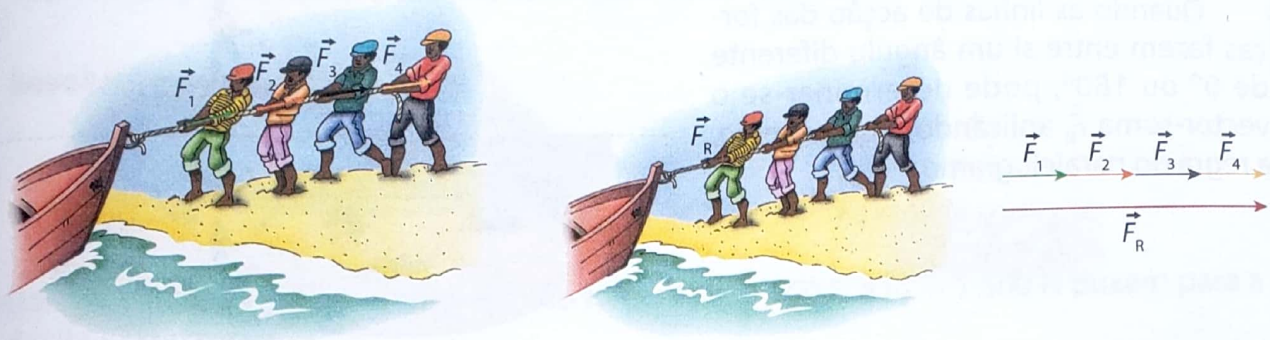


Fig. 2.12 Representação do sistema de forças e da força resultante.

A força resultante ($\vec{F}_R$) da Fig. 2.12 tem as seguintes características:

- **Ponto de aplicação**: o ponto onde a corda está ligada ao barco.
- **Direcção**: a direcção da recta que contém a corda de ligação ao barco.
- **Sentido**: o das forças componentes (da esquerda para a direita).
- **Intensidade**: a soma das intensidades das forças componentes (forças que os quatro homens fazem para puxar o barco).

A força resultante será: $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$

A intensidade da força resultante será: $F_R = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$

Sistema de forças com a mesma direcção, mas de sentidos opostos

A força resultante ($\vec{F}_R$) da Fig. 2.13 tem as seguintes características:

- **Ponto de aplicação**: no *skate*
- **Direcção**: a das forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ (horizontal)
- **Sentido**: o da força com maior intensidade, neste caso a força $\vec{F}_2$
- **Intensidade**: igual à diferença de intensidades das forças componentes

A força resultante será: $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

A intensidade da força resultante será:

$F_R = F_2 - F_1$, sendo $F_2 > F_1$

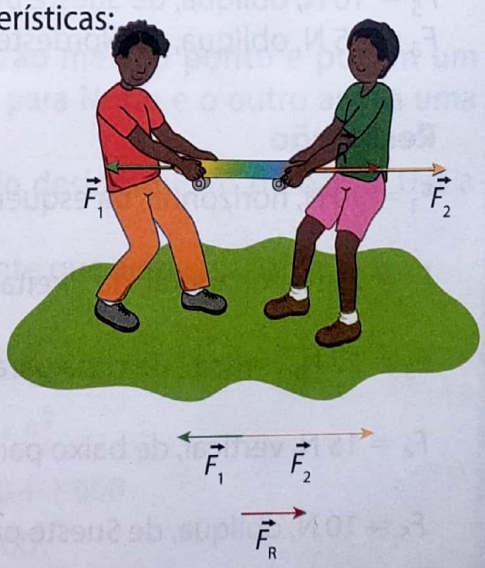


Fig. 2.13 Representação do sistema de forças e da força resultante.

Digitalizado com CamScanner

Sistema de forças concorrentes (forças que formam entre si um ângulo)

Quando as linhas de acção das forças fazem entre si um ângulo diferente de 0º ou 180º, pode determinar-se o vector-soma $\vec{F}_R$ aplicando, por exemplo, a regra do paralelogramo.

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

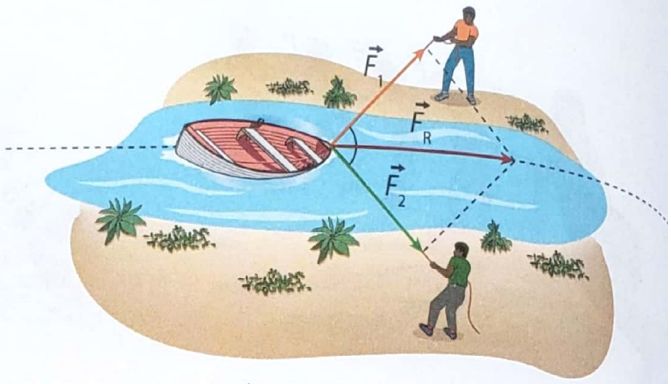


Fig.2.14 Representação do sistema de forças e da força resultante.

Quando as duas forças concorrentes fazem entre si um ângulo de 90º, a intensidade da força resultante calcula-se através da aplicação do Teorema de Pitágoras.

$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 \qquad F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

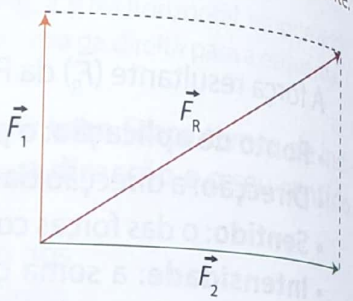


Fig. 2.15 Forças concorrentes que fazem entre si um ângulo de 90º.

Exercícios resolvidos

1. Na escala de 1 cm/10 N, representa as seguintes forças:

F_1 = 30 N, horizontal, da esquerda para a direita
F_2 = 25 N, horizontal, da direita para a esquerda
F_3 = 22 N, vertical, de cima para baixo
F_4 = 15 N, vertical, de baixo para cima
F_5 = 10 N, oblíqua, de Sueste para Noroeste
F_6 = 35 N, oblíqua, de Nordeste para Sudoeste

Resolução

F_1 = 30 N, horizontal, da esquerda para a direita

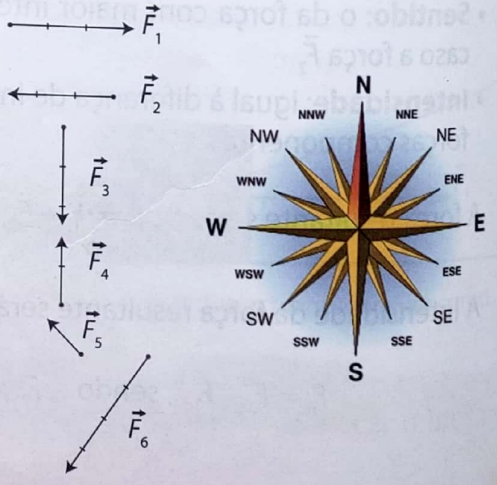
F_2 = 25 N, horizontal, da direita para a esquerda

F_3 = 22 N, vertical, de cima para baixo

F_4 = 15 N, vertical, de baixo para cima

F_5 = 10 N, oblíqua, de Sueste para Noroeste

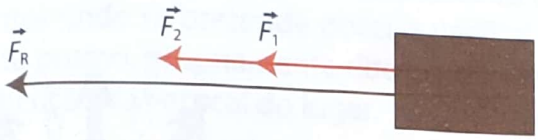
F_6 = 35 N, oblíqua, de Nordeste para Sudoeste



Digitalizado com CamScanner

2. Duas forças $F_1 = 15$ N e $F_2 = 25$ N, ambas horizontais, estão aplicadas sobre um corpo, de Este para Oeste.
Representa graficamente o sistema de forças e a sua resultante. Usa 1 cm/5 N.

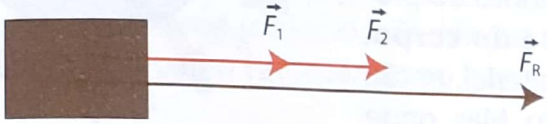
Resolução



$F_R = F_1 + F_2$
$F_R = 15 + 25$
$F_R = 40$ N

3. Dois bois lavrando a terra e empregando forças $F_1 = 1\,000$ N e $F_2 = 1\,500$ N puxam para a direita uma charrua.
Na escala de 1/500 N, representa o sistema de forças e a sua resultante.

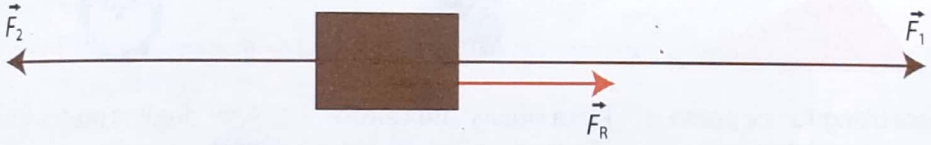
Resolução



$F_R = F_1 + F_2$
$F_R = 1\,000 + 1\,500$
$F_R = 2\,500$ N

4. Sobre um corpo actuam duas forças: $F_1 = 60$ N, horizontal da esquerda para a direita, e $F_2 = 40$ N, também horizontal, mas da direita para a esquerda.
Usa a correspondência de 1 cm/10 N e representa graficamente o sistema e a sua resultante.

Resolução



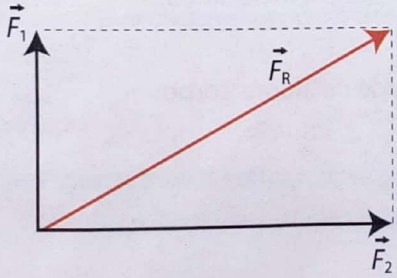
$F_R = F_1 - F_2$
$F_R = 60 - 40$
$F_R = 20$ N

5. Numa piscina, dois miúdos usam duas cordas presas ao mesmo ponto e puxam um barco de borracha. Um deles aplica uma força de 30 N para Norte e o outro aplica uma força de 40 N para Este.

a) Mostra, esquematicamente, a direcção e o sentido do deslocamento do barco. Usa a escala de 1 cm/10 N.

b) Determina analiticamente o módulo da força resultante que actua no barco.

Resolução



$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2$
$F_R^2 = 900 + 1\,600$
$F_R^2 = 2\,500$
$F_R = \sqrt{2\,500} = 50$ N

Digitalizado com CamScanner

Centro de gravidade

A **força da gravidade** é, como anteriormente foi referido, a força com que a Terra atrai um corpo. Esta força, também chamada peso do corpo, tem:

- **Direcção**: vertical
- **Sentido**: de cima para baixo
- **Módulo ou intensidade**: produto da massa do corpo pela aceleração da gravidade do local, isto é,

$$\vec{P} = \vec{F}_g = m \cdot \vec{g}$$

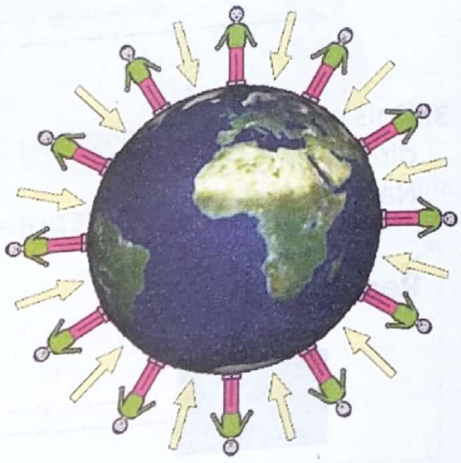
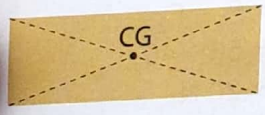


Fig. 2.16 Força da gravidade

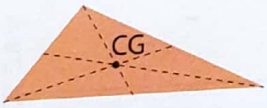
A questão que se coloca em relação ao peso de um corpo é: «Qual é o ponto de aplicação do peso?».

O ponto de aplicação da força peso é um ponto do próprio corpo denominado **centro de gravidade do corpo**. Se considerarmos que o corpo é um ponto material, então toda a sua massa está concentrada nesse ponto. Mas, onde se localiza o centro de gravidade do corpo?

No caso de um corpo possuir forma geométrica, o seu **centro de gravidade** – CG – (também chamado baricentro ou centro de massa) – coincide com o centro geométrico, como se apresenta de seguida.



Placa rectangular: no ponto de concorrência das diagonais.



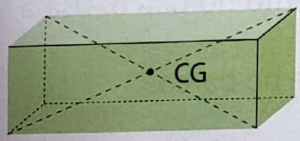
Placa triangular: no ponto de concorrência das mediatrizes.



Placa circular: no centro do círculo.



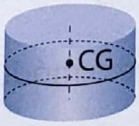
Anel circular: no centro do anel.



Paralelepípedo: no ponto de concorrência das diagonais.



Esfera maciça: no centro da esfera.



Cilindro: no ponto do eixo situado a meia altura.



Cone: Sobre a altura a $^1/_3$ a partir da base.

Fig. 2.17 Centro de gravidade de alguns corpos

Digitalizado com CamScanner

Se o corpo não possui forma regular, quer dizer, se o corpo for irregular, o centro de gravidade (CG) pode ser determinado experimentalmente com o auxílio de um **fio de prumo**, instrumento muito simples que determina a vertical do lugar. O prumo é basicamente composto por um peso (geralmente com o formato de pião) preso a um cordel, o que permite suspendê-lo ou baixá-lo sobre o lugar (ponto) onde se pretende obter a vertical. A direcção do cordel (o fio de prumo, propriamente dito), quando esticado pelo peso, indica a direcção da vertical do lugar.

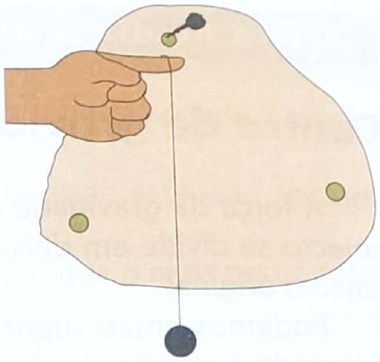


Fig. 2.18 Fio de prumo

É preciso notar que nem sempre o centro de gravidade (CG) é um ponto do próprio corpo.

Há situações em que o centro de gravidade fica fora do corpo como, por exemplo, no caso do anel circular ou do *boomerang* (objecto que, lançado no espaço, faz um voo curvo retornando ao ponto de partida).

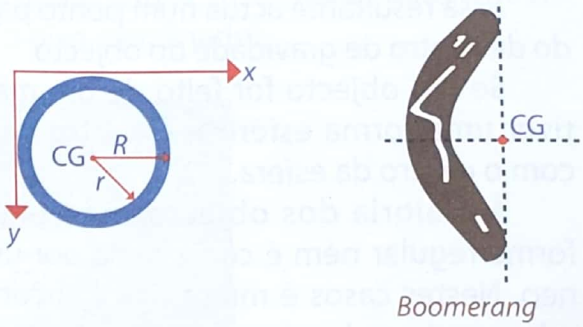


Fig. 2.19 Centro de gravidade de um anel circular e de um *boomerang*

Experiência

Determinação do centro de gravidade de um corpo

Material

- Placa de madeira, esferovite ou cartão com orifícios próximos da periferia
- Suporte
- Fio de prumo
- Lápis

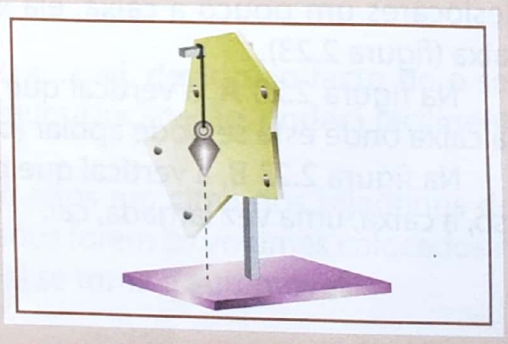


Fig. 2.20 Montagem experimental

Procedimento

1. Pegar numa placa de madeira, esferovite ou cartão de forma irregular e com vários orifícios próximos da periferia e suspendê-la num suporte por um dos orifícios.
2. Em frente da placa suspender o fio de prumo, tal como está indicado na figura 2.20.
3. Na placa, marcar com um lápis a direcção do fio de prumo.
4. Proceder de igual modo, suspendendo a placa pelos outros orifícios (figura 2.21).

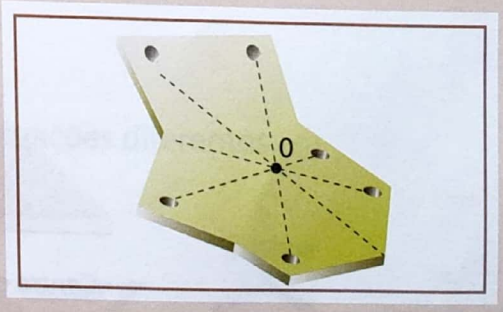


Fig. 2.21 Montagem experimental

O que observas?

O ponto de intersecção das várias rectas traçadas é o centro de gravidade (CG) do corpo.

Digitalizado com CamScanner

Física no dia-a-dia

Centro de gravidade dos corpos

A força da gravidade actua sobre todas as partículas que constituem um objecto. Se um objecto se divide em dois, os dois bocados terão pesos que somados reconstituem o peso do objecto original.

Podemos então supor que o peso de um objecto corresponde à resultante das forças de atracção que a Terra exerce sobre cada partícula.

Essa resultante actua num ponto particular que é chamado de centro de gravidade do objecto.

Se um objecto for feito de um material homogéneo e tiver uma forma esférica, o centro de gravidade coincide com o centro da esfera.

A maioria dos objectos não tem, no entanto, uma forma regular nem é constituída por um material homogéneo. Nestes casos é muito difícil encontrar uma regra para saber onde se localiza o centro de gravidade do objecto e este é determinado recorrendo a métodos práticos.

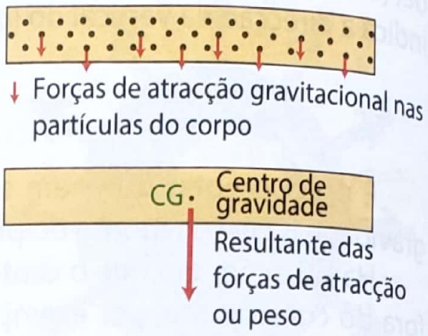


Fig. 2.22 O centro de gravidade de um corpo é o ponto onde se supõe que se exerce o peso do corpo.

A posição do centro de gravidade de um objecto é extremamente importante para se perceber se esse objecto cai com facilidade ou não, isto é, se é estável.

Imagina uma caixa rectangular apoiada pela base menor sobre uma mesa. Se com um dedo deslocares um pouco a caixa, ela inclina-se, dependendo da inclinação que deste de início à caixa (figura 2.23).

Na figura 2.23 **A**, a vertical que passa pelo centro de gravidade da caixa cai dentro da zona da caixa onde esta se pode apoiar (base de apoio). Por isso, a caixa volta à posição inicial.

Na figura 2.23 **B**, a vertical que passa pelo centro de gravidade sai fora da base de apoio. Por isso, a caixa, uma vez largada, cai.

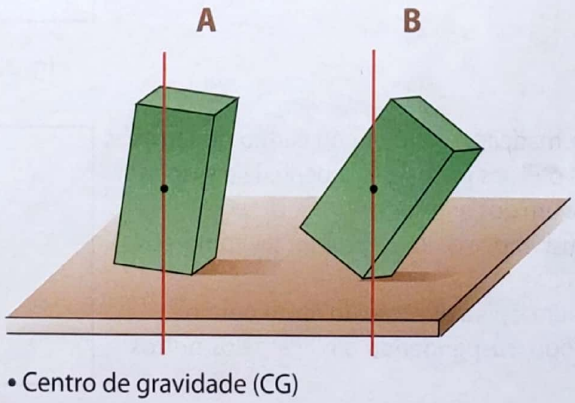


Fig. 2.23 Diferentes posições da mesma caixa sobre uma mesa

Digitalizado com CamScanner

O que acontece em cada caso tem haver com a distância do centro de gravidade à mesa e com o tamanho da base de apoio.

Há duas maneiras de aumentar a estabilidade de um objecto, quando este está apoiado numa superfície.

Uma delas é construí-lo de forma que o seu centro de gravidade se situe o mais perto possível da superfície onde vai ser apoiado.

A outra é construir o corpo com a maior base de apoio possível.

Os carros de Fórmula 1 são, em regra, muito baixos e muito largos, justamente para aumentar a estabilidade quando têm de fazer curvas apertadas (o piso é inclinado).



Fig. 2.24 Carro de Fórmula 1

Um camião muito carregado em altura torna-se pouco estável, devido ao facto de o seu centro de gravidade se situar muito alto. Numa curva com alguma inclinação, poderá facilmente virar-se.

O mesmo se passa com a colocação de pacotes muito altos em cima dos tejadilhos dos automóveis. Quanto mais alta for a carga e quanto mais pesados forem os volumes colocados no tejadilho, mais alto fica o centro de gravidade e menos estável se torna o automóvel.

Tipos de equilíbrio

A figura 2.25 mostra uma esfera em equilíbrio em três situações diferentes.

- No primeiro caso (I), se a esfera for deslocada da sua posição de equilíbrio, ela tem tendência a regressar a essa posição – **equilíbrio estável**.
- No segundo caso (II), deslocando-se a esfera da sua posição de equilíbrio, ela não regressa a essa posição – **equilíbrio instável**.



Fig. 2.25 Tipos de equilíbrio

- No terceiro caso (III), a esfera mantém-se em equilíbrio em qualquer posição em que for colocada – **equilíbrio indiferente**.

Digitalizado com CamScanner

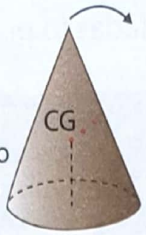
Analisemos as condições que um corpo deve obedecer para manter cada um dos tipos de equilíbrio anteriormente referidos.

Um corpo terá tanto **mais equilíbrio** – estabilidade – quanto **mais baixo estiver** o seu centro de gravidade e quanto **maior for a área** da sua base de sustentação.

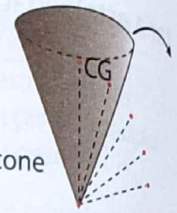
O **equilíbrio** dos corpos apoiados depende da **área da base de sustentação** e da **posição** do centro de gravidade em relação à base de sustentação.

O equilíbrio pode ser **estável**, **instável** e **indiferente**.

Equilíbrio estável
Afastando ligeiramente o cone da posição de equilíbrio, ele volta facilmente à mesma posição.
Isto acontece porque ao ser desviado ligeiramente desta posição, o centro de gravidade do cone fica mais alto.



Equilíbrio instável
Ao menor deslocamento o cone tomba e não consegue voltar à mesma posição.
Isto acontece porque ao mais leve desvio, o centro de gravidade do cone fica mais baixo.



Equilíbrio indiferente
O cone está sempre em equilíbrio quando desviado desta posição.
Isto acontece porque ao ser desviado desta posição, a altura do centro de gravidade não varia.

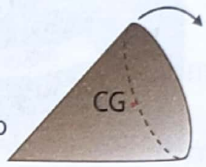


Fig. 2.26 Características dos equilíbrios

Experiência

Equilíbrio estável, instável e indiferente de um corpo apoiado

Material

- Cartão
- Tesoura
- Régua
- Lápis
- Objecto pontiagudo para fazer os orifícios
- Suporte

Procedimento

1. Cortar uma rodela de cartão com 7,5 cm de raio e marcar o diâmetro a tracejado.
2. Sobre o tracejado fazer três orifícios: um no centro (2) e os outros perto das extremidades (1 e 3). O orifício do centro (2) coincide com o centro de gravidade do corpo.
3. Suspender a rodela de um suporte pelo orifício 1 e afastá-la ligeiramente da sua posição inicial (figura 2.27 A).
4. Largar a rodela e registar as tuas observações.

Digitalizado com CamScanner

5. Em seguida, suspender a rodela pelo orifício 3 (figura 2.27 B) e provocar-lhe pequenas rotações.
6. Registar as tuas observações.
7. Tornar a suspender a rodela, mas agora pelo orifício central 2 (figura 2.27 C).
8. Fazer-lhe também pequenas rotações.
9. Registar as tuas observações.

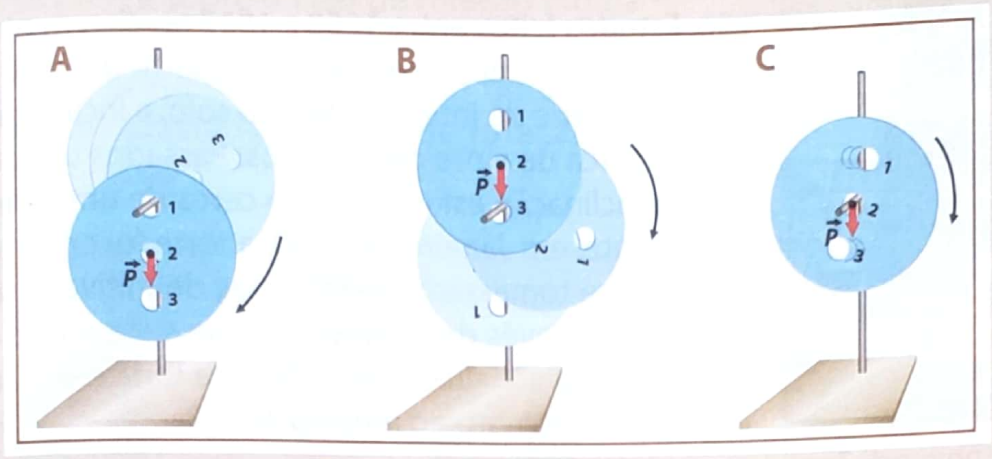


Fig. 2.27 Montagem experimental

Condição de equilíbrio de um corpo apoiado num plano

Observa a figura 2.28. Repara que, nas duas primeiras situações, a linha vertical que passa pelo centro de gravidade do corpo «cai» dentro da base de sustentação do corpo; por isso, o corpo mantém-se em equilíbrio.

Já no terceiro caso, isso não acontece. A linha vertical que passa pelo centro de gravidade do corpo «cai» fora da base de sustentação. O corpo perde o equilíbrio.

O mesmo se passa com uma pessoa (figura 2.29). Se a linha vertical que passa pelo seu centro de gravidade cair dentro da base de sustentação, definida pela área dos seus pés, ela permanecerá em equilíbrio.

No entanto, se a pessoa se inclinar para a frente (ou para trás) corre o risco de perder o equilíbrio e cair, já que a linha vertical que passa pelo seu centro de gravidade passa por fora da base de apoio definida pelos seus pés.

A famosa Torre de Pisa (inclinada), um dos grandes símbolos da Itália, começou a ser construída em Agosto de 1173 e só ao fim de quase 200 anos, em 1350, ficou pronta, mas respeitando o projecto inicial, cujo autor é desconhecido.

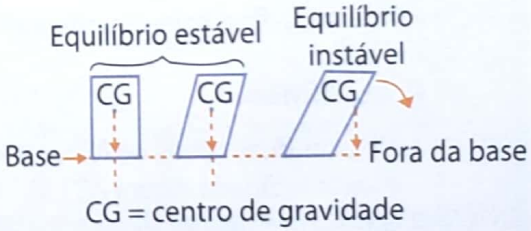


Fig. 2.28 Condições de equilíbrio de um corpo.



Fig. 2.29 Equilíbrio de uma pessoa.

Digitalizado com CamScanner



Fig. 2.30 Linha de prumo da Torre de Pisa

A torre mede 54,5 metros e pesa cerca de 14,5 toneladas. O monumento fica situado na Praça dos Milagres e tem um elevado valor histórico, por vezes esquecido, devido à particularidade de ser inclinado. Ainda durante o processo de construção, quando a obra ia no terceiro andar, começou a surgir a inclinação que viria a tornar a torre mundialmente famosa. Logo nessa época, começaram a ser efectuadas reparações para corrigir a inclinação. Estudos feitos entre 1550 e 1817 revelaram o crescimento da inclinação em cinco centímetros. A partir de 1838, logo após ser feita uma série de intervenções no solo, a inclinação da torre progrediu cerca de vinte centímetros. Passados uns anos, a progressão da inclinação estabilizou em cerca de um milímetro por ano. Finalmente, em Janeiro de 1990, a torre foi encerrada ao público para que se tomassem medidas que definitivamente travassem a inclinação através de intervenções no subsolo. As obras de reparação ficaram concluídas em 2001 e a torre reabriu ao público no dia 15 de Dezembro do mesmo ano.

Experiência

Por que não cai a Torre de Pisa?

Material

- Duas caixas de fósforos
- Uma superfície horizontal
- Uma superfície ligeiramente inclinada

Procedimento

1. Colocar duas caixas de fósforos iguais sobre duas superfícies: uma horizontal (figura 2.31 **A**) e outra ligeiramente inclinada (figura 2.31 **B**).
2. Em **A**, a vertical do lugar que passa pelo centro de gravidade (CG) do corpo, atravessa o centro da base da caixa. Em **B**, essa vertical do lugar também atravessa a base da caixa, mas não no centro. Embora haja equilíbrio nas duas situações, em **B** é menos estável.
3. Ir levantando a tábua e traçar as sucessivas verticais do lugar. A certa altura, a vertical do lugar passa fora da superfície de sustentação da caixa. O corpo cai (figura 2.31 **C**).

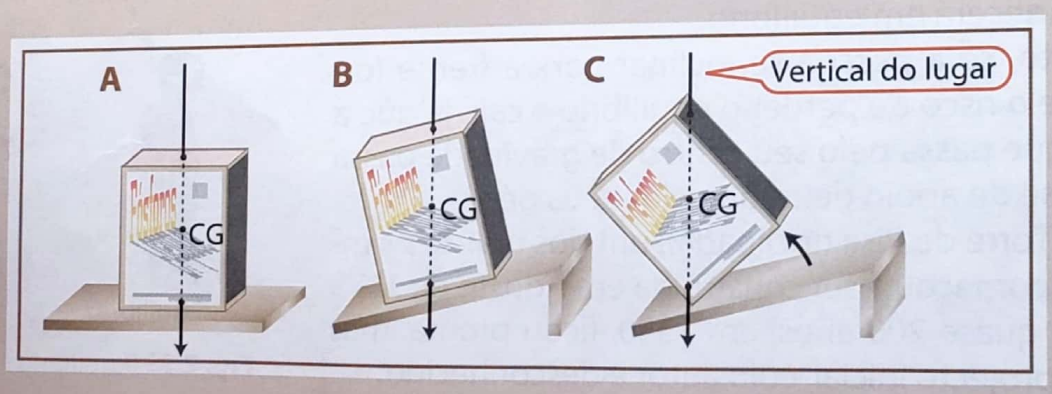


Fig. 2.31 Montagem experimental

Digitalizado com CamScanner

Momento de uma força

Quando queremos fazer rodar um objecto, temos de aplicar sobre ele uma força. Por exemplo, para empurrarmos uma porta, podemos aplicar uma força sem a conseguirmos rodar. Para que isto aconteça, basta que essa força se exerça sobre o eixo de rotação (figura 2.32).

Para rodar uma porta temos de aplicar uma força menor no lado mais afastado do eixo de rotação da porta (figura 2.33).



Fig. 2.32 Uma força aplicada no eixo de rotação da porta não a faz rodar.

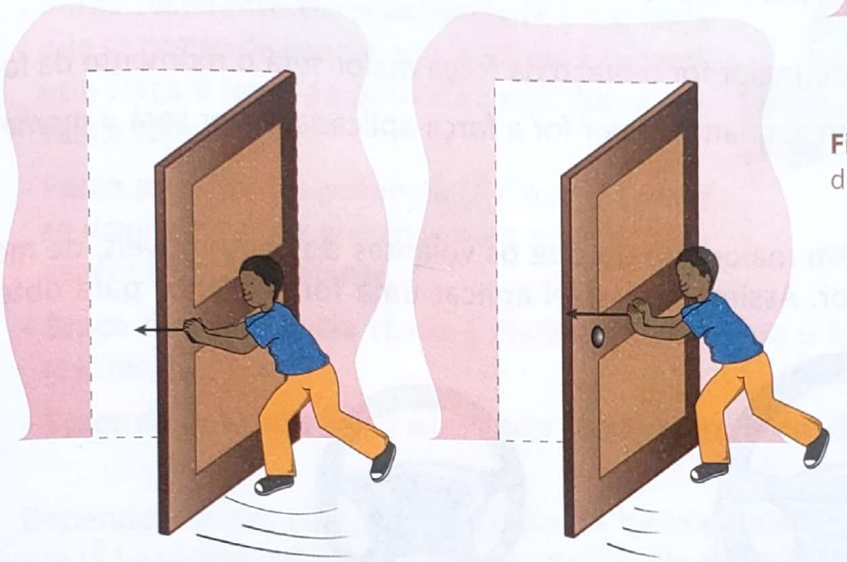


Fig. 2.33 Quando o ponto de aplicação da força está mais afastado do eixo de rotação da porta é mais fácil rodá-la.

O mesmo acontece com uma chave inglesa. É mais fácil aplicar uma força na extremidade do cabo do que ao meio.

Suponhamos que b é a distância da força ao eixo de rotação da chave e F é a intensidade da força aplicada, o efeito rotativo da força é o mesmo se exercermos metade da força a uma distância $2b$ do eixo de rotação.

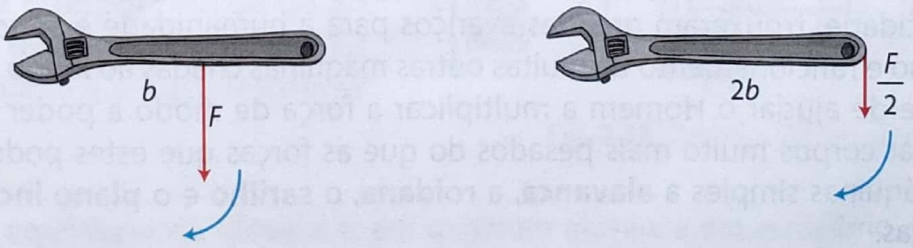


Fig. 2.34 O efeito rotativo da força é o mesmo nas duas situações.

Verificamos, assim, que o efeito rotativo de uma força depende da intensidade da força e da distância ao eixo de rotação do ponto onde aplicamos a força. Essa distância chama-se **braço da força** e é simbolizada por b.

Digitalizado com CamScanner

A grandeza física que exprime o efeito rotativo de uma força chama-se **momento de uma força**, simbolizada por *M*. É igual ao produto do braço da força pela sua intensidade:

$$M = b \times F$$

A unidade do Sistema Internacional de Unidades do momento de uma força é o newton metro (N m).

Se o momento de uma força for nulo, a força não produzirá rotação.

Para se conseguir o mesmo efeito rotativo:

- Para a mesma força, quanto maior for o braço da força maior será o momento da força.
- Para o mesmo braço da força, quanto maior for a força aplicada maior será o momento da força.

Os volantes dos camiões têm maior raio do que os volantes dos automóveis, de modo que o braço da força seja maior. Assim, é possível aplicar uma força menor para obter o mesmo efeito rotativo.

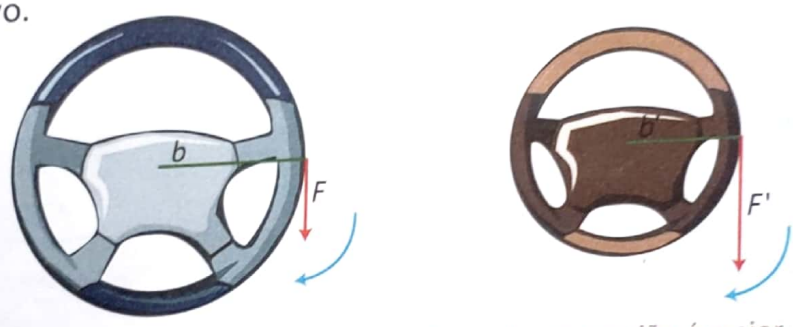


Fig. 2.35 O braço da força do volante de um camião é maior do que o do automóvel.

Máquinas simples

As **máquinas simples** são dispositivos constituídos por uma única peça que, apesar da sua absoluta simplicidade, trouxeram grandes avanços para a humanidade e se tornaram a base para a construção e funcionamento de muitas outras máquinas criadas ao longo da história. Elas têm a finalidade de ajudar o Homem a multiplicar a força de modo a poder transportar ou mesmo equilibrar corpos muito mais pesados do que as forças que estes podem aplicar. São exemplos de máquinas simples a **alavanca**, a **roldana**, o **sarilho** e o **plano inclinado**, apenas para citar algumas.

Digitalizado com CamScanner

Alavanca

É uma barra rígida, que pode ser recta ou curva, e móvel em torno de um dos seus pontos, chamado fulcro ou ponto de apoio (A).

O principal objectivo do uso da alavanca é o de multiplicar a força, isto é, aplicando-se na alavanca uma força relativamente pequena, é possível equilibrar corpos com o peso muito maior do que a força aplicada.

Em qualquer alavanca, devemos considerar os seguintes elementos:

- **Fulcro ou ponto de apoio (A)**: o ponto onde a alavanca está apoiada, em torno do qual pode girar.
- **Força resistente ou resistência ($\vec{F}_r$)**: é a força que se pretende vencer ou equilibrar. Em geral, esta força é igual ao peso da carga que a alavanca suporta.
- **Força potente ou potência ($\vec{F}_p$)**: é a força que se deve aplicar na alavanca para equilibrar ou vencer a força resistente.

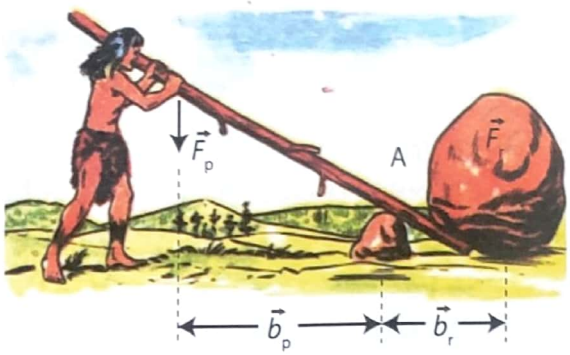


Fig. 2.36 Alavanca.

- **Braço da resistência ($\vec{b}_r$)**: é a distância que separa o fulcro da linha de acção da força resistente.
- **Braço da potência ($\vec{b}_p$)**: é a distância que separa o fulcro da linha de acção da força potente.

Dependendo das posições ocupadas na barra da alavanca, pelo fulcro (A) e pelas forças potente ($\vec{F}_p$) e resistente ($\vec{F}_r$), as alavancas classificam-se em:

- **Alavanca interfixa ou de 1.ª espécie**: tem o fulcro entre as forças potente ($\vec{F}_p$) e resistente ($\vec{F}_r$).
- **Alavanca inter-resistente ou de 2.ª espécie**: tem a força resistente ($\vec{F}_r$) entre o fulcro e a força potente ($\vec{F}_p$).
- **Alavanca interpotente ou de 3.ª espécie**: tem a força potente ($\vec{F}_p$) entre o fulcro e a força resistente ($\vec{F}_r$).

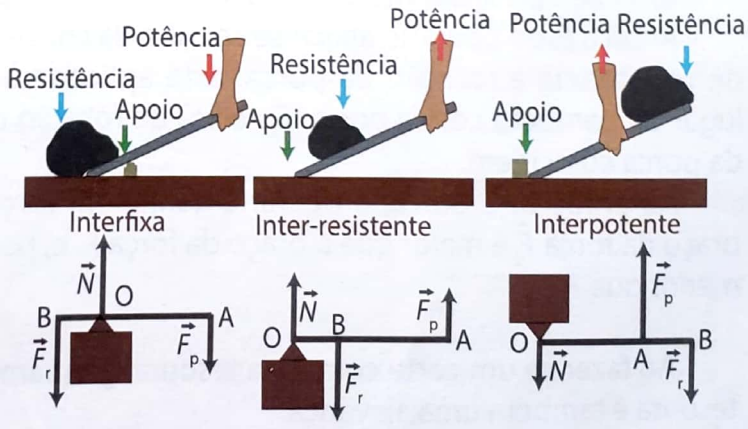


Fig. 2.37 Classificação das alavancas.

Condição de equilíbrio da alavanca: em qualquer alavanca em equilíbrio, o momento da força resistente (M_r) deve ser igual ao momento da força potente (M_p).

$$M_r = M_p \Leftrightarrow F_r \cdot b_r = F_p \cdot b_p$$

Digitalizado com CamScanner

Vantagem mecânica da alavanca

O Homem primitivo descobriu que quanto mais longa era a distância entre o ponto de apoio (fulcro) e a linha vertical que passa pelo ponto de aplicação da força potente, mais peso este podia erguer com menos esforço, isto é, quanto maior for o braço da potência, menos força este exercia. À relação entre os braços da potência e da resistência, ou entre a força a vencer (força resistente) e a força a aplicar (força potente), dá-se o nome de **vantagem mecânica da alavanca**. Esta indica-nos quantas vezes a força resistente deve ser maior ou menor que a força potente.

$$Vant = \frac{F_r}{F_p} \quad \text{ou} \quad Vant = \frac{b_p}{b_r}$$

- Se $Vant > 1 \Leftrightarrow F_p < F_r \Leftrightarrow b_p > b_r \Leftrightarrow$ a alavanca é **mecanicamente vantajosa** porque permite-nos poupar força, isto é, a **força** que devemos aplicar na alavanca **deve** ser duas (2), três (3), etc., vezes **menor que o peso da carga**.
- Se $Vant < 1 \Leftrightarrow F_p > F_r \Leftrightarrow b_p < b_r \Leftrightarrow$ a alavanca é **mecanicamente desvantajosa** porque não permite poupar força, isto é, a **força** que devemos aplicar na alavanca **deve** ser duas (2), três (3), etc., vezes **maior que o peso da carga**.

A alavanca na técnica e na vida quotidiana

Na alavanca equilibrada pela acção de duas forças, as intensidades das forças de acção são inversamente proporcionais aos braços.

Este princípio explica o vasto emprego da alavanca, na técnica e na vida quotidiana, quando se quer ganhar força.

Um exemplo evidente da alavanca é a chave de porcas.

A força $\vec{F}_1$ do operário aplica-se ao cabo da chave. A força $\vec{F}_2$, de resistência à rotação da porca, está aplicada à chave no lugar de contacto com a porca. Os eixos de rotação da chave e da porca coincidem.

Ao enroscar a porca, o operário ganha em força já que o braço da força $\vec{F}_1$ é maior que o braço da força $\vec{F}_2$ e, por isso, $\vec{F}_1$ é menor que $\vec{F}_2$.

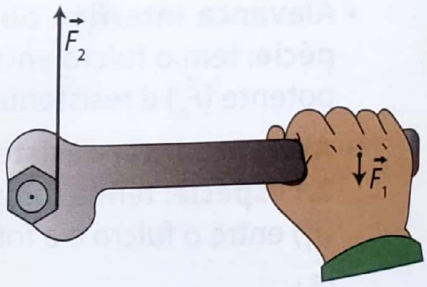


Fig. 2.38 Chave de porcas.

Ao fazer-se um corte com uma tesoura, ganhamos força. A tesoura é também uma alavanca.

O eixo de rotação desta alavanca passa pelo parafuso que une as duas metades. A força de acção $\vec{P}$ é a força muscular da mão que aperta a tesoura; a força de reacção $\vec{F}$ é a resistência do material que se corta.

O tipo de tesoura varia segundo o uso a que se destina.

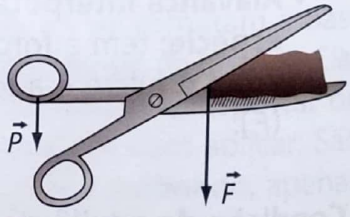


Fig. 2.39 A tesoura é uma alavanca.

Muitas máquinas têm alavancas de formas diferentes. A manivela da máquina de coser, o pedal e o travão de mão da bicicleta, os pedais de travão dos automóveis, as teclas da máquina de escrever e do piano são exemplos de alavancas utilizadas nestas máquinas.

Digitalizado com CamScanner

Experiência

Determinação experimental da condição de equilíbrio da alavanca

Material

• Uma base • Uma haste vertical de 30/40 cm • Um pino • Um travessão de balança com 50 cm de comprimento (marcado de 5 em 5 cm) • Ganchos e jogos de massas marcadas

Procedimento

1. Montar a alavanca de acordo com a figura 2.40.
2. Do lado esquerdo do travessão, suspender, pelo gancho, a 5 cm ($\vec{b}_r$) do apoio (fulcro) uma massa de 40 g ($\vec{F}_r$). Lembra-te de que:

$$\vec{F}_r = m \cdot \vec{g} = 0{,}04\ \text{kg} \cdot 10\ \text{m/s}^2 = 0{,}4\ \text{N}$$

3. Por tentativas, do lado direito do travessão, a 10 cm ($\vec{b}_p$) do apoio (fulcro), suspender corpos até conseguires que o travessão fique em equilíbrio na posição horizontal.
4. Repetir os dois procedimentos anteriores, suspendendo corpos com pesos diferentes a distâncias diferentes do fulcro.
5. Preencher a tabela que se segue e fazer os cálculos necessários.

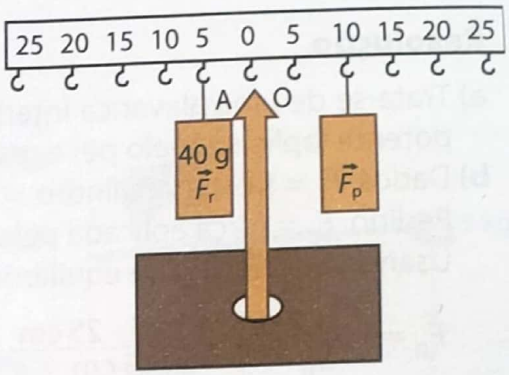


Fig. 2.40 Montagem experimental

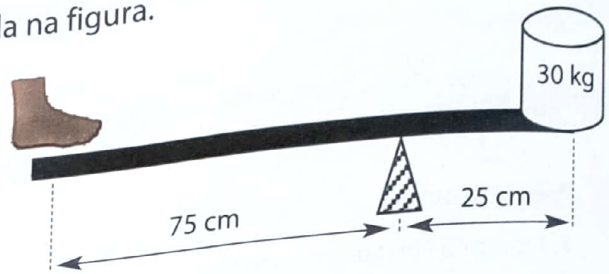
	Lado esquerdo do travessão da alavanca		Lado direito do travessão da alavanca				
Ensaio n.º	F_r (N) $F_r = m \cdot g$	b_r (cm)	F_p (N) $F_p = m \cdot g$	b_p (cm)	Calcula $M_r = F_r \cdot b_r$	Calcula $M_p = F_p \cdot b_p$	Compara M_r e M_p
1	0,4	5		10	2 N cm		
2	0,8	20		40	16 N cm		
3							
4							
5							

6. Repetir a experiência com outro tipo de alavanca (inter-resistente e interpotente).
7. Analisar com atenção os resultados das três últimas colunas das tabelas. A que conclusão chegaste relativamente à condição de equilíbrio de uma alavanca?

Digitalizado com CamScanner

Exercícios resolvidos

1. Analisa com atenção a alavanca esquematizada na figura.



a) Identifica-a. Justifica a resposta.

b) Calcula a força potente necessária para manter a alavanca em equilíbrio horizontal.

c) Determina a vantagem mecânica da alavanca.

Resolução

a) Trata-se de uma alavanca interfixa, porque o fulcro (ponto de apoio) está entre as forças potente (aplicada pelo pé) e resistente (peso do cilindro).

b) Dados: F_r = peso do cilindro = $m \cdot g$ = 30 kg · 10 m/s^2 = 300 N; b_r = 25 cm; b_p = 75 cm

Pedido: F_p = força aplicada pelo pé para manter a alavanca em equilíbrio

Usando a condição de equilíbrio da alavanca: $F_r \cdot b_r = F_p \cdot b_p$

$$F_p = \frac{F_r \cdot b_r}{b_p} = \frac{300\ \text{N} \cdot 25\ \text{cm}}{75\ \text{cm}} \Leftrightarrow F_p = 100\ \text{N}$$

c) Vantagem mecânica: pelo cálculo efectuado na alínea anterior, verificamos que a força potente é de 100 N, isto é, três vezes menor que a força resistente (300 N). Isto significa que esta alavanca é mecanicamente vantajosa e a sua vantagem é 3.

Calculando a vantagem mecânica: $Vant = \frac{F_r}{F_p} = \frac{300\ \text{N}}{100\ \text{N}} = 3$ ou $Vant = \frac{b_p}{b_r} = \frac{75\ \text{cm}}{25\ \text{cm}} = 3$

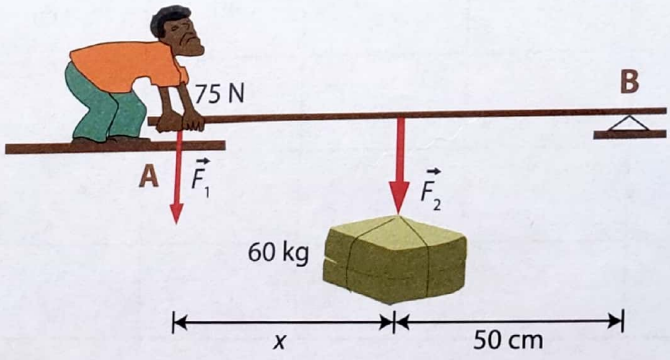
(repara que a vantagem mecânica é uma grandeza adimensional – sem unidades).

2. Com uma força de 75 N, aplicada em A, um operário equilibra um saco de arroz de 60 kg com uma alavanca.

a) Identifica-a. Justifica a resposta.

b) Calcula o valor dos braços desta alavanca.

c) Do ponto de vista mecânico, a alavanca é ou não vantajosa? Justifica a resposta.



Resolução

a) Alavanca inter-resistente porque a força resistente (carga – peso do saco de arroz) se encontra entre a força potente (aplicada pelo operário em A) e o fulcro (ponto de apoio em B).

Digitalizado com CamScanner

b) Dados: $F_p = 75\ N$; $F_r = m \cdot g = 600\ N$; $b_p = (x + 50)$; $b_r = 50\ cm$ – analisa atentamente a figura para identificar os braços $\Leftrightarrow 600 \cdot 50 = 75 \cdot (50 + x) = 3\,750 + 75 \cdot x$

$$x = \frac{30\,000 - 3\,750}{75} = 350\ cm$$

O braço da resistência mede 50 cm e o da potência mede $b_p = 50 + x = 400\ cm = 4\ m$.

c) A alavanca é mecanicamente vantajosa porque para equilibrar um corpo com o peso de 600 N o operário aplica uma força muito menor (75 N), ou seja, houve poupança de força.

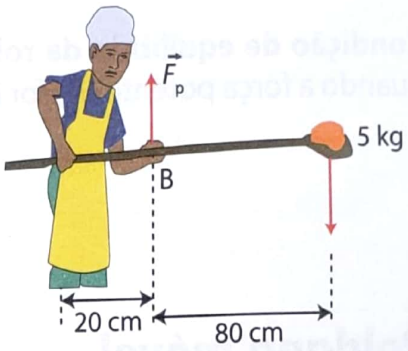
$$Vant = \frac{F_r}{F_p} = \frac{600\ N}{75\ N} = 8$$

3. Com o auxílio da sua pá o padeiro retira um bolo de 5 kg do forno. Com os dados ilustrados na figura, responde às questões que se seguem:

a) Que tipo de alavanca representa a pá do padeiro? Justifica a resposta.

b) Que força o padeiro deve exercer no ponto B?

c) A alavanca é ou não mecanicamente vantajosa? Justifica a resposta.



Resolução

a) Alavanca interpotente porque a força potente (aplicada pelo padeiro) está entre a força resistente (peso do bolo) e o fulcro.

b) Dados: $F_r = m \cdot g = 50\ N$; $b_p = 20\ cm$; $b_r = 100\ cm$ – analisa atentamente a figura para identificar os braços.

Pedido: $F_p =$ força que o padeiro exerce na pá

Aplicando a condição de equilíbrio da alavanca: $F_r \cdot b_r = F_p \cdot b_p$

$$F_p = \frac{50 \cdot 100\ cm}{20\ cm} = 250\ N$$

c) Alavanca mecanicamente desvantajosa porque a força potente é maior que a força resistente.

$$Vant = \frac{F_r}{F_p} = \frac{50\ N}{250\ N} = 0{,}2$$

Roldana

A **roldana** é constituída por um disco que pode girar livremente em torno de um eixo que passa pelo seu centro. Na periferia desse disco existe um sulco denominado **gola** ou **garganta** por onde se passa uma corda. Numa das extremidades livres da corda suspende-se a carga que se pretende elevar ou equilibrar (a força resistente) e na outra extremidade aplica-se a força potente necessária para vencer ou equilibrar a força resistente.

Existem dois tipos de roldanas que, dependendo dos objectivos, podem ser usadas individualmente ou associadas.

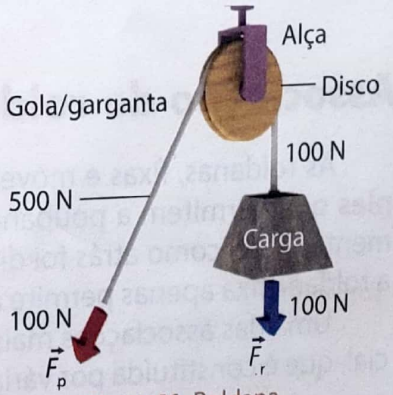


Fig. 2.41 Roldana

Digitalizado com CamScanner

A talha representada na figura 2.44 é constituída por três roldanas móveis (1), (2) e (3) e por uma roldana fixa.

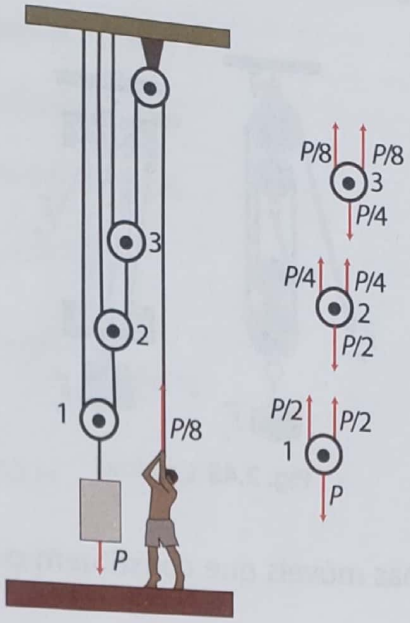


Fig. 2.44 Talha

Considera o corpo de peso P (força resistente) suspenso. Cada uma das três roldanas móveis reduz para metade a força necessária para equilibrar o peso que cada uma delas suporta.

Assim, a força que se deve aplicar:

- Na **primeira roldana** móvel para equilibrar o peso P é $F_{p1} = \frac{\vec{P}}{2}$.
- Na **segunda roldana** móvel em cada metade da corda é $\vec{F}_{p2} = \frac{\vec{F}_{p1}}{2} = \frac{\vec{P}}{4} = \frac{\vec{P}}{2^2}$.
- Na **terceira roldana** móvel deve ser aplicada uma força $\vec{F}_{p3} = \frac{\vec{F}_{p2}}{2} = \frac{\vec{F}_{p1}}{4} = \frac{\vec{P}}{8} = \frac{\vec{P}}{2^3}$.

Podemos concluir que sendo n o número de roldanas móveis que constituem uma talha, ela ficará em equilíbrio se for satisfeita a condição:

$$\vec{F}_p = \frac{\vec{F}_r}{2^n}$$

Digitalizado com CamScanner

A talha representada na figura 2.44 é constituída por três roldanas móveis (1), (2) e (3) e por uma roldana fixa.

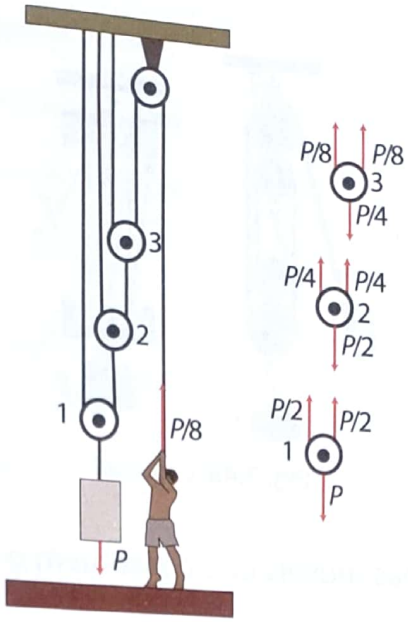


Fig. 2.44 Talha

Considera o corpo de peso P (força resistente) suspenso. Cada uma das três roldanas móveis reduz para metade a força necessária para equilibrar o peso que cada uma delas suporta.

Assim, a força que se deve aplicar:

- Na **primeira roldana** móvel para equilibrar o peso P é $F_{p1} = \frac{\vec{P}}{2}$.
- Na **segunda roldana** móvel em cada metade da corda é $\vec{F}_{p2} = \frac{\vec{F}_{p1}}{2} = \frac{\vec{P}}{4} = \frac{\vec{P}}{2^2}$.
- Na **terceira roldana** móvel deve ser aplicada uma força $\vec{F}_{p3} = \frac{\vec{F}_{p2}}{2} = \frac{\vec{F}_{p1}}{4} = \frac{\vec{P}}{8} = \frac{\vec{P}}{2^3}$.

Podemos concluir que sendo n o número de roldanas móveis que constituem uma talha, ela ficará em equilíbrio se for satisfeita a condição:

$$\vec{F}_p = \frac{\vec{F}_r}{2^n}$$

Digitalizado com CamScanner

Outro modo de aumentar a vantagem mecânica consiste na associação de várias roldanas fixas (num único bloco) com várias roldanas móveis (todas num mesmo bloco). A esta associação dá-se o nome de **cadernal** (figura 2.45). A associação também é conhecida por moitão.

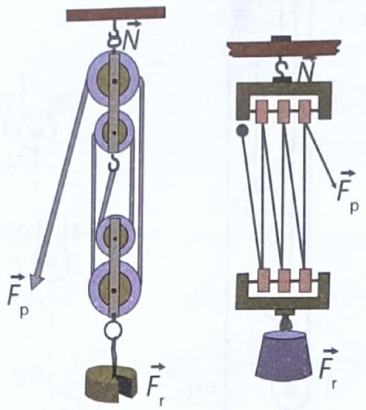


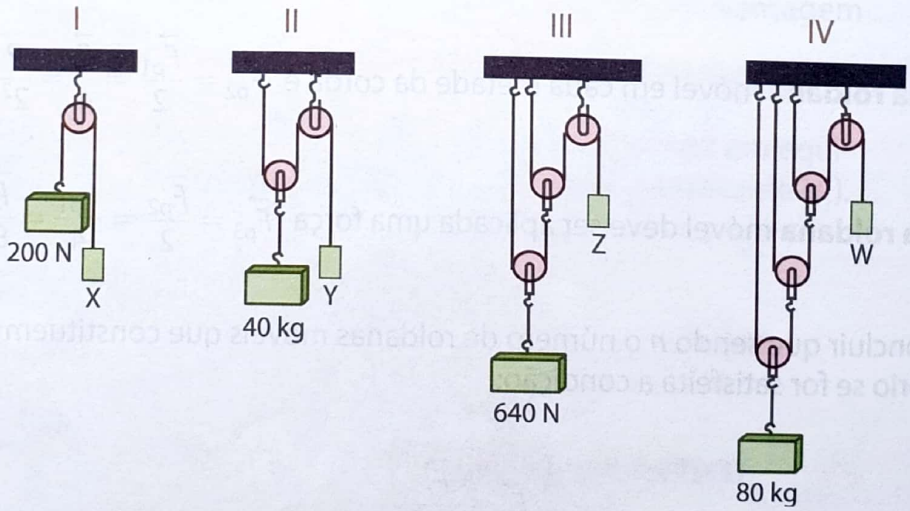
Fig. 2.45 Cadernal

Sendo n o número de roldanas móveis que constituem o cadernal, ele ficará em equilíbrio se for satisfeita a condição:

$$\vec{F}_p = \frac{\vec{F}_r}{2^n}$$

Exercícios resolvidos

1. Analisa atentamente as associações de roldanas representadas na figura abaixo.



a) Identifica cada uma delas.
b) Calcula o valor do peso dos corpos X, Y, Z e W para manter cada um dos sistemas em equilíbrio.
c) Determina a vantagem mecânica de cada um dos sistemas.

Digitalizado com CamScanner

Resolução

a) I: Roldana fixa

II: Talha com 1 roldana móvel e 1 fixa

III: Talha com 2 roldanas móveis e 1 fixa

IV: Talha com 3 roldanas móveis e 1 fixa

b) I: $F_p = F_r = 200\ N$

II: $F_p = \frac{F_r}{2^n} = \frac{40\ kg \cdot 10\ m/s^2}{2^1} = 200\ N$

III: $F_p = \frac{F_r}{2^n} = \frac{640\ N}{2^2} = 160\ N$

IV: $F_p = \frac{F_r}{2^n} = \frac{80\ kg \cdot 10\ m/s^2}{2^3} = 100\ N$

c) $Vant = \frac{F_R}{F_P}$

$Vant_I = \frac{200\ N}{200\ N} = 1$

$Vant_{II} = \frac{400\ N}{200\ N} = 2$

$Vant_{III} = \frac{640\ N}{160\ N} = 4$

$Vant_{IV} = \frac{800\ N}{100\ N} = 8$

2. Um cadernal é constituído por dois grupos de roldanas, um grupo com 3 roldanas fixas e outro grupo com 3 roldanas móveis. Que força deve ser aplicada na extremidade livre da corda para equilibrar um balde com o peso de 18 kg?

Resolução

Usando a condição de equilíbrio do cadernal:

$$F_p = \frac{F_r}{2n} \Leftrightarrow F_p = \frac{18\ kg \cdot 10\ m/s^2}{2 \cdot 3} = 30\ N$$

3. Quantas roldanas móveis deve ter uma talha para que um fardo de 320 N seja equilibrado por uma força de 10 N?

Resolução

Usando a condição de equilíbrio da talha:

$$F_p = \frac{F_r}{2^n} \Leftrightarrow 2^n = \frac{F_r}{F_p} \Leftrightarrow 2^n = \frac{320}{10} \Leftrightarrow 2^n = 32 \Leftrightarrow 2^n = 2^5 \Leftrightarrow n = 5$$

Digitalizado com CamScanner

Sarilho

É uma máquina simples constituída por um cilindro horizontal de raio r_C sobre o qual se enrola uma corda por meio de uma manivela que faz girar o cilindro. A força potente F_p é aplicada à manivela de raio R_M e a força resistente F_r é suspensa na extremidade livre da corda.

O sarilho é muito usado para extrair água dos poços e não só.

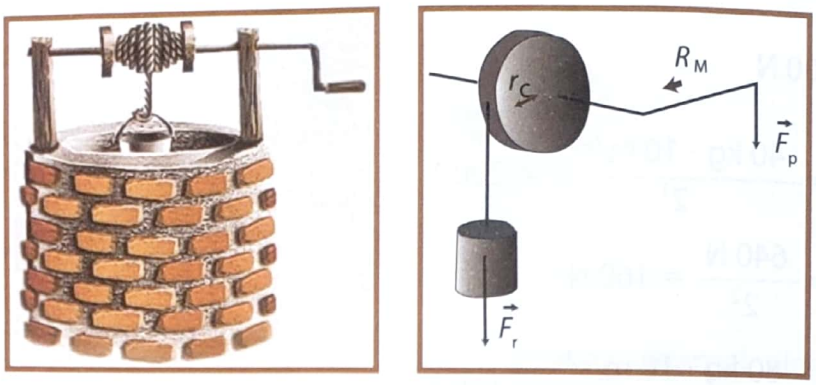


Fig. 2.46 Sarilho

Para que no sarilho se estabeleça equilíbrio entre a carga (força resistente) e a força potente é necessário que se verifique a condição:

$$F_p \cdot R_M = F_r \cdot r_C$$

Plano inclinado

São superfícies planas, rígidas, inclinadas em relação à horizontal, que servem para multiplicar forças, constituindo, portanto, máquinas simples. Tábuas que se apoiam no solo por uma das extremidades e num camião pela outra, sobre a qual operários empurram cargas, são exemplos de planos inclinados. Rampas de acesso a morros ou construções elevadas são também planos inclinados.

Na figura 2.47 mostra-se o exemplo do uso do plano inclinado. O declive de uma estrada também é um plano inclinado.



Fig. 2.47 O uso do plano inclinado para carregar um camião.

Digitalizado com CamScanner

No **plano inclinado**, quando a força potente é aplicada paralelamente ao comprimento do plano, o trabalho da força da gravidade para elevar a carga (força resistente) verticalmente para cima ($W_g = F_r \cdot h$) é igual ao trabalho realizado pelo operário para transportar a carga até ao topo do plano ($W_p = F_r \cdot l$), ou seja, o trabalho realizado pela força potente é igual ao trabalho realizado pela força resistente:

$$W_p = W_r \Leftrightarrow F_p \cdot l = F_r \cdot h$$

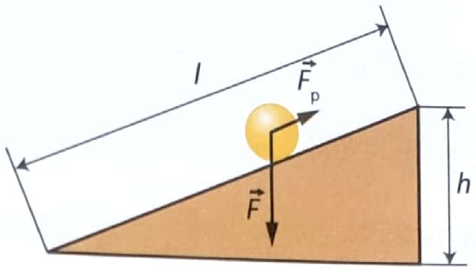


Fig. 2.48 Plano inclinado

Isto significa que, para cumprir a mesma tarefa de levantar lentamente uma carga a uma altura h, o plano inclinado permite uma economia de força ($F_p < F_r$), o que acarreta, entretanto, um acréscimo de distância ($l > h$). Na verdade, este facto é observado em todas as máquinas simples, pelo que podemos dizer que:

Regra de ouro da Mecânica: o uso das máquinas simples não traz qualquer vantagem do ponto de vista da realização de trabalho, pois o trabalho realizado pela força potente é igual ao realizado pela força resistente, ou seja, o que se ganha em força perde-se em distância e vice-versa.

Exercícios resolvidos

1. O raio do cilindro de um sarilho mede 2 cm e o raio da manivela mede 10 cm. Que força deve ser aplicada na manivela do sarilho para se equilibrar um fardo de 400 N, preso na extremidade livre da corda?

Resolução

Dados: $r_C = 2$ cm; $R_M = 10$ cm; $F_r = 400$ N

Pedido: $F_p = ?$

Da condição de equilíbrio do sarilho: $F_p \cdot R_M = F_r \cdot r_C \Leftrightarrow F_p = \frac{400\text{ N} \cdot 2\text{ cm}}{10\text{ cm}} = 80\text{ N}$

Digitalizado com CamScanner

2. O raio da manivela de um sarilho é quatro vezes maior que o raio do cilindro. Que força deve ser aplicada na manivela para que, na extremidade livre da corda, possa ser equilibrado um balde de 2 kg contendo 8 litros de água? (Nota que 1 litro de água é equivalente a 1 kg).

Resolução

Dados: $R_M = 4\,r_C$

$F_r = m \cdot g = (2 + 8)\ \text{kg} \cdot 10\ \text{m/s}^2 = 100\ \text{N}$

Pedido: $F_p = ?$

Da condição de equilíbrio do sarilho:

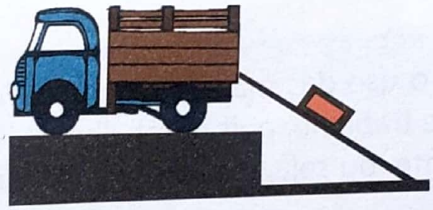
$$F_p \cdot R_M = F_r \cdot r_C \Leftrightarrow F_p = \frac{100 \cdot r_C}{4 \cdot r_C} = 25\ \text{N}$$

Deve ser aplicada uma força de 25 N.

3. Observa a figura que representa um caixote de 50 kg a ser transportado, pelo plano inclinado acima, em direcção à carroçaria de um camião que fica situada a 2 metros do solo.

O comprimento do plano inclinado é de 10 metros.

Determina a força que o operário deve fazer para realizar a tarefa.



Resolução

Dados: $h = 2\ \text{m}; l = 10\ \text{m}$

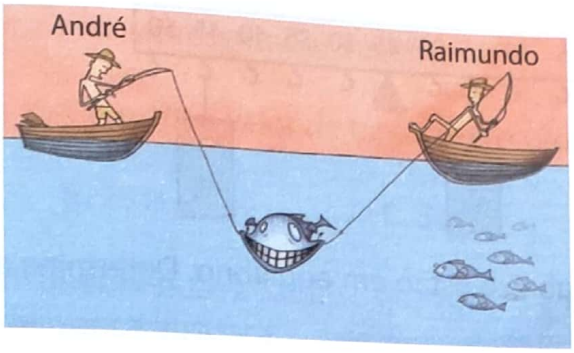
$F_r = 50\ \text{kg} \cdot 10\ \text{m/s}^2 = 500\ \text{N}$

$$F_p \cdot l = F_r \cdot h \Leftrightarrow F_p = \frac{500 \cdot 2\ \text{m}}{10\ \text{m}} = 100\ \text{N}$$

O operário deve fazer uma força de 100 N.

Digitalizado com CamScanner

1. Dois pescadores, André e Raimundo, capturaram um enorme peixe e em conjunto tentam retirá-lo da água, procedendo como mostra a figura.
André aplica uma força de 60 N na sua cana de pesca e Raimundo aplica uma força de 80 N, perpendicular à força de André.
Representa graficamente a situação descrita e calcula o módulo da força resultante.

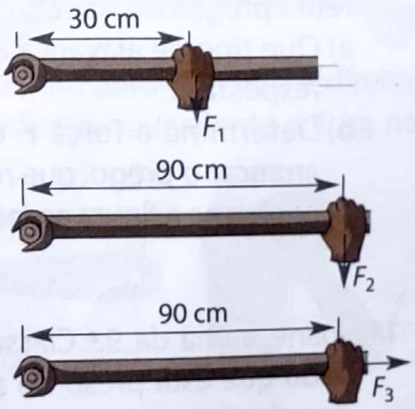


2. Qual é o módulo da resultante das forças que actuam num carro quando este:
a) Está em repouso?
b) Está animado de Movimento Rectilíneo Uniforme?

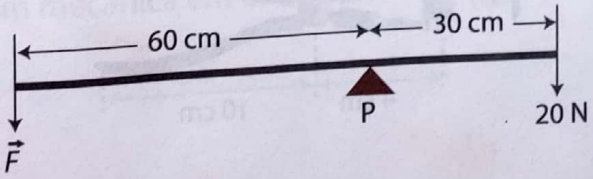
3. Recorta, em cartão, corpos irregulares e usando o método do fio de prumo, determina o centro de gravidade de cada um dos corpos.

4. Qual deve ser a posição do centro de gravidade de um corpo em relação ao ponto de suspensão para que se mantenha:
a) Em equilíbrio indiferente? **b)** Em equilíbrio estável? **c)** Em equilíbrio instável?

5. Alfeu, Benjamim e Maria, alunos da 9.ª classe, aplicaram as forças $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$, respectivamente, na chave da figura, na tentativa de desapertar uma porca.
a) Qual das três forças tem momento nulo? Justifica a resposta.
b) Se todas as forças aplicadas tiverem o mesmo módulo de 40 N, qual dos três alunos terá mais facilidade em desapertar a porca? Justifica a resposta.
c) Determina o momento de cada força em relação ao ponto de rotação da porca.

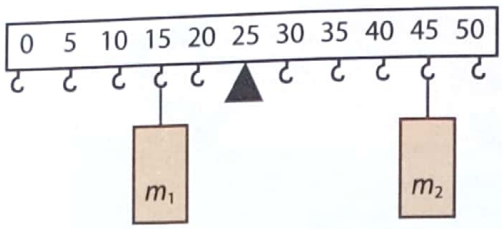


6. A barra da figura, de peso desprezível, está em equilíbrio estático apoiada no ponto P.
a) Determina o momento da força de 20 N em relação ao ponto P.
b) Para que a barra se mantenha em equilíbrio, qual deve ser o momento da força $\vec{F}$, aplicada na extremidade da esquerda?
c) Calcula o módulo da força $\vec{F}$, para que a barra se mantenha em equilíbrio.

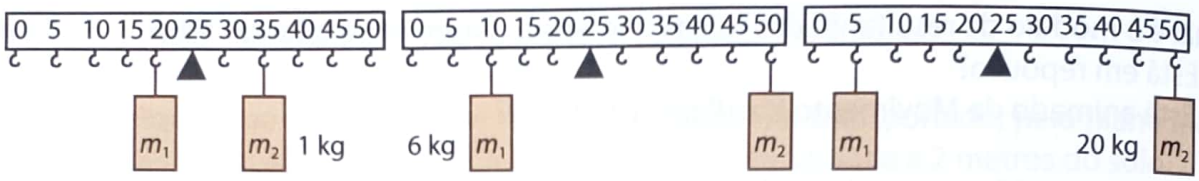


Digitalizado com CamScanner

7. A figura representa uma régua uniforme, apoiada directamente abaixo do seu centro, na qual podem ser penduradas massas de valores m_1 e m_2. A cada 5 cm há um pequeno gancho.
Considera $m_1 = 4$ kg e $g = 10$ m/s^2.
Qual deve ser o valor da massa m_2 para que a barra permaneça em equilíbrio na posição horizontal?

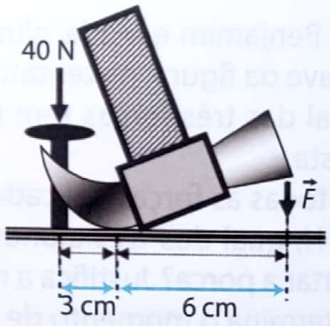


8. Os sistemas representados abaixo estão em equilíbrio. Determina a massa em falta, em cada caso.

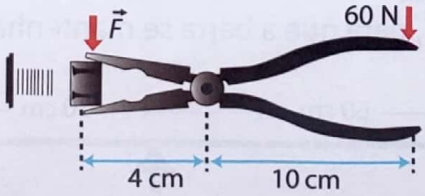


9. Os braços da potência e da resistência de uma alavanca interfixa medem 80 cm e 20 cm, respectivamente. Com esta alavanca pretende-se equilibrar um fardo com um peso de 450 N.
a) Representa esquematicamente a alavanca, identificando todos os seus elementos.
b) Determina a força que deve ser aplicada na alavanca para a manter em equilíbrio.
c) Calcula a vantagem mecânica da alavanca.

10. Numa construção civil, o João, pedreiro experiente, retira pregos duma tábua.
a) Que tipo de alavanca está representada? Justifica a resposta.
b) Determina a força $\vec{F}$ que o João deve fazer para arrancar o prego, que reage com uma força de 40 N, conforme a figura ao lado.

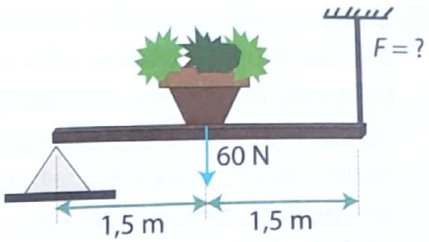


11. Joana, aluna da 9.ª Classe, utiliza um alicate de ponta fina para apertar um parafuso sextavado que está preso no seu guarda-roupa. A força exercida pela Joana é de 60 N. Qual é o tipo de alavanca representado na situação e o valor da força transmitida à ponta do alicate?
A. Interfixa e 100 N.
B. Interpotente e 100 N.
C. Inter-resistente e 150 N.
D. Interfixa e 150 N.



Digitalizado com CamScanner

12. Um vaso com flores com o peso de 60 N enfeita o salão de um prédio.
O vaso é pendurado no centro de uma haste de 3 m de comprimento.
Uma das extremidades da haste está presa por uma corda ao tecto.



a) Que tipo de alavanca está representado? Justifica a resposta.

b) Marca a alternativa que mostra o valor da força, *F*, na corda, para que o sistema permaneça em equilíbrio.

A. 10 N **B.** 20 N **C.** 30 N **D.** 40 N

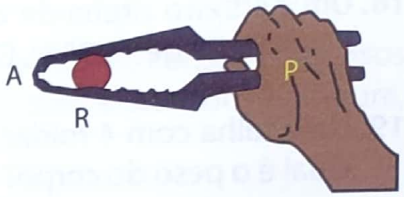
13. A figura representa um quebra-nozes. Sabe-se que $\overline{AR} = 5$ cm e $\overline{RP} = 20$ cm.

a) Identifica o tipo de alavanca. Justifica.

b) Se a mão estiver a fazer um esforço equivalente a 2 kg, que resistência a noz oferece?

c) Determina a vantagem mecânica deste quebra-nozes.

d) Segundo reza a história, um dia Arquimedes, grande sábio grego da antiguidade, disse: «Se me derem um ponto de apoio, eu, com a minha alavanca, levanto o mundo». Explica, resumidamente, o que Arquimedes quis dizer com esta metáfora.

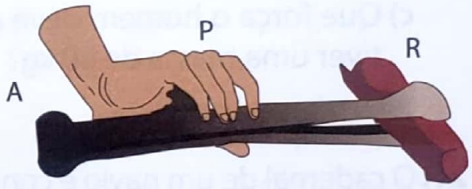


14. Supõe que, na figura, para segurar o rolo de papel deve ser efectuado um esforço equivalente a 1,5 kg. Considerando que $\overline{AP} = 7{,}5$ cm e $\overline{PR} = 22{,}5$ cm, responde às seguintes questões:

a) Que tipo de alavanca está representado? Justifica a resposta.

b) Calcula a resistência oferecida pelo rolo de papel.

c) Determina a vantagem mecânica da alavanca.

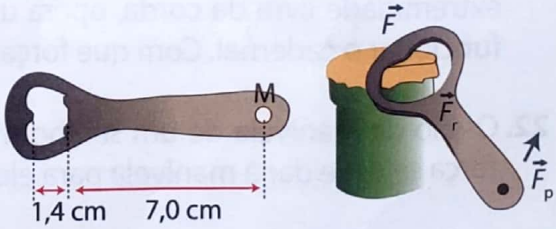


15. As figuras a seguir representam esquematicamente, à esquerda, um abre-garrafas, à direita, esse abre-garrafas em actividade. Se uma pessoa aplicar um esforço equivalente a 1 kg no ponto M para abrir a garrafa, responde:

a) Qual deve ser a força de resistência que a tampa oferece?

b) Que tipo de alavanca o abre-garrafas representa? Justifica a resposta.

c) Calcula a vantagem mecânica desta alavanca.

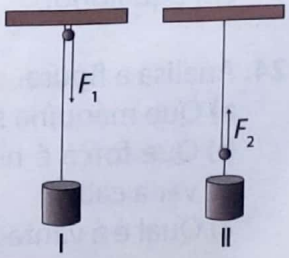


16. Um operário pretende manter em equilíbrio um bloco de 15 kg, usando uma roldana, de dois modos diferentes, como mostram as figuras.

a) Identifica os dispositivos representados nas figuras I e II.

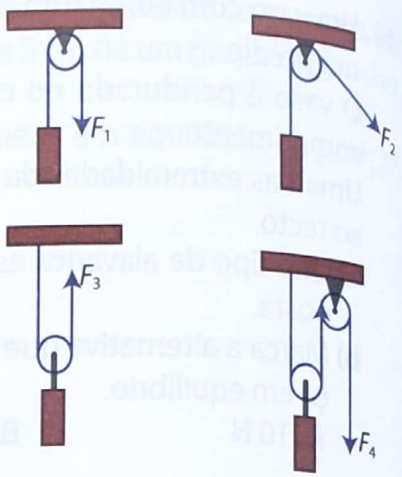
b) Determina os valores das forças F_1 e F_2 que mantêm os sistemas em equilíbrio.

c) Determina a vantagem mecânica em cada caso.



Digitalizado com CamScanner

17. Observa estes quatro sistemas de roldanas, em que objectos da mesma massa são mantidos suspensos, em equilíbrio, por uma força aplicada na extremidade da corda.



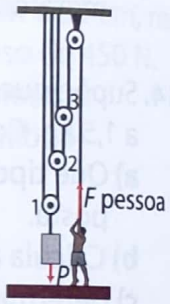
Sejam F_1, F_2, F_3 e F_4 as forças que actuam numa das extremidades das cordas em cada um desses sistemas, como representado na figura. Observa que, em dois desses sistemas, a roldana é fixa e nos outros dois, uma é móvel.
Considera que, em cada um desses sistemas, a roldana pode girar livremente ao redor do seu eixo; que a corda é inextensível; e que a massa da roldana e a da corda são desprezíveis. Considerando-se essas informações, em relação aos módulos dessas quatro forças, é correcto afirmar que:

A. $F_1 = F_2 = F_3 = F_4$
B. $F_1 > F_2 > F_3 > F_4$
C. $F_1 < F_2 < F_3 < F_4$
D. $F_1 = F_2$; $F_2 = 2F_3$ e $F_3 = F_4$

18. Um pedreiro pretende construir uma talha que equilibra um fardo de 520 N, aplicando-se um esforço de 16,25 N. Quantas roldanas móveis deve possuir essa talha?

19. Uma talha com 4 roldanas móveis precisa de um esforço de 20 N para equilibrar um corpo. Qual é o peso do corpo?

20. Analisa a figura que mostra uma associação de roldanas.



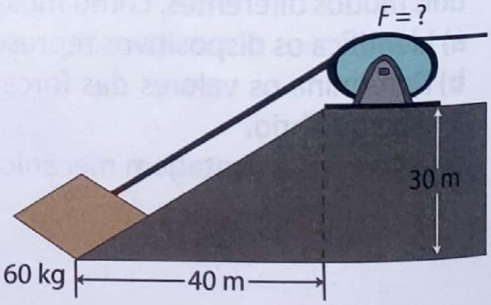
a) Que nome tem a associação representada na figura?
b) Por quantas roldanas móveis essa associação é constituída?
c) Que força o homem deve aplicar na extremidade livre da corda se o corpo tiver uma massa de 60 kg?

21. O cadernal de um navio é constituído por um grupo de 4 roldanas móveis e por outro grupo de igual número de roldanas fixas. Com este cadernal, pretende-se elevar, com velocidade constante, um fardo constituído por 50 sacos de arroz de 50 kg cada um. Uma pessoa, situada na extremidade livre da corda, opera uma máquina que puxa essa extremidade de modo a fazer funcionar o cadernal. Com que força a máquina deve puxar a corda?

22. O raio da manivela de um sarilho mede 15 cm e o diâmetro do seu cilindro mede 5 cm. Que força se deve dar à manivela para elevar, com velocidade constante, um balde de 120 N.

23. O comprimento da manivela de um sarilho é 10 vezes maior que o raio do cilindro. Qual deve ser a razão entre as forças resistente e potente aplicadas neste sarilho, para que se mantenha em equilíbrio?

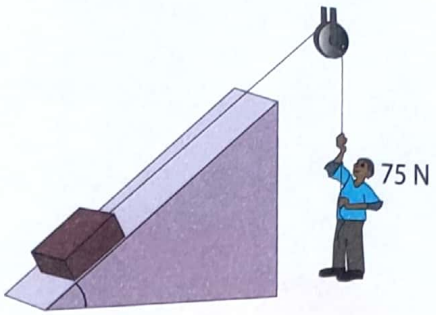
24. Analisa a figura.



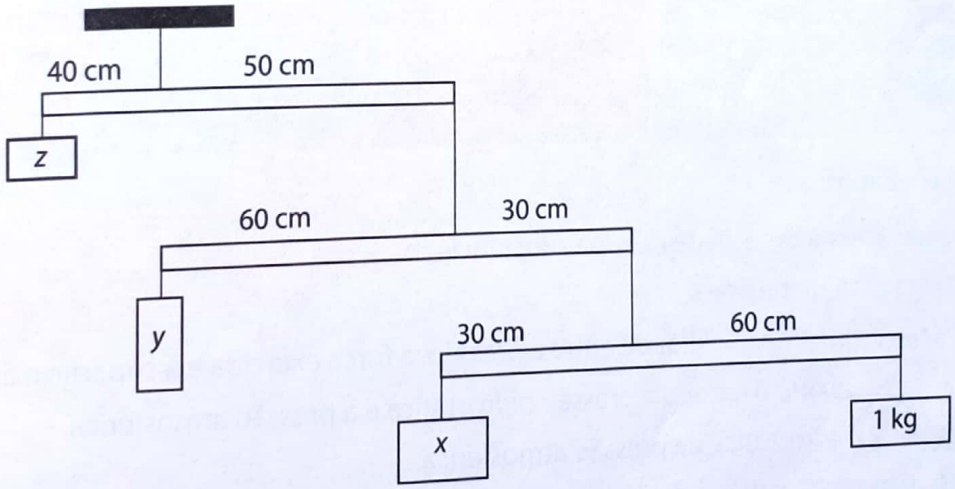
a) Que máquina simples está representada?
b) Que força é necessária aplicar na corda para elevar a caixa?
c) Qual é a vantagem mecânica deste dispositivo?

Digitalizado com CamScanner

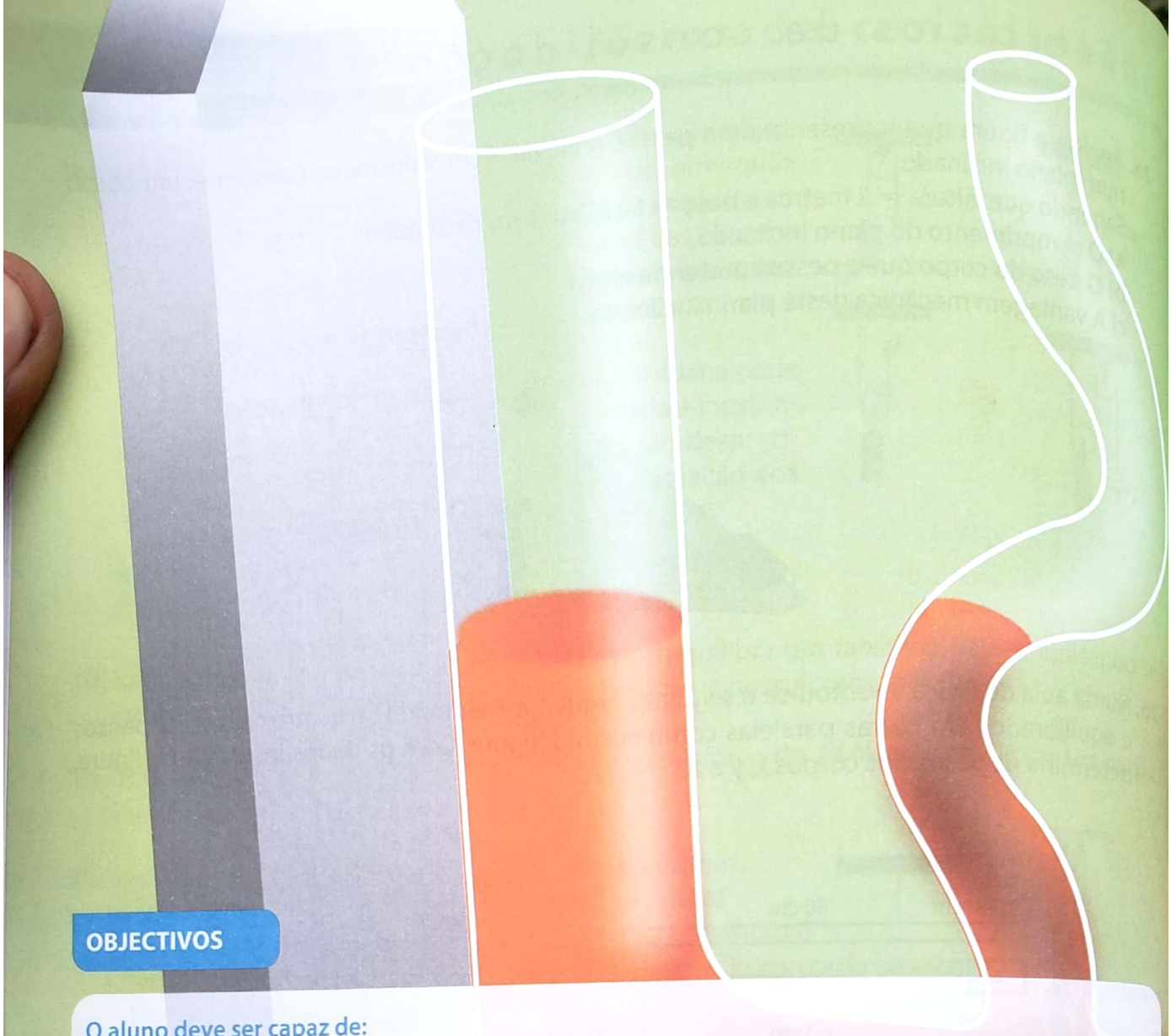
25. Analisa a figura que representa uma pessoa a elevar, com velocidade constante, um corpo num plano inclinado.
Sabendo que: altura = 2 metros e base = 10,82 metros, determina:
a) O comprimento do plano inclinado.
b) O peso do corpo que a pessoa pretende elevar.
c) A vantagem mecânica deste plano inclinado.



26. Numa aula de Física, montou-se o seguinte esquema, mantendo-se quatro corpos suspensos e equilibrados em barras paralelas como ilustra a figura. Com os dados inseridos na figura, determina os pesos dos corpos *x*, *y* e *z*.



Digitalizado com CamScanner



OBJECTIVOS

O aluno deve ser capaz de:

- Explicar o significado da densidade de uma substância.
- Interpretar o conceito de pressão.
- Explicar a relação de proporcionalidade entre a pressão, a força exercida e a superfície de apoio.
- Explicar os factores de que depende a pressão hidrostática e a pressão atmosférica.
- Distinguir a pressão hidrostática da pressão atmosférica.
- Relacionar as diferentes unidades de pressão.
- Aplicar a fórmula da densidade na resolução de exercícios concretos.
- Descrever a experiência de Torricelli.
- Aplicar a equação fundamental da hidrostática na resolução de exercícios associados a situações concretas.
- Interpretar o Princípio de Pascal.
- Explicar o funcionamento de uma prensa hidráulica.
- Enunciar o Princípio de Arquimedes.
- Explicar o Princípio de flutuabilidade dos corpos.
- Aplicar o Príncipio de Arquimedes na resolução de exercícios associados a situações concretas.
- Mencionar aplicações de vasos comunicantes.

Digitalizado com CamScanner



Estática dos fluidos

UNIDADE 3

CONTEÚDOS

- Densidade de uma substância
- Pressão exercida por sólidos, líquidos e gases
- Pressão hidrostática e pressão atmosférica (experiência de Torricelli)
- Unidades de pressão: pascal, atmosfera, bar, cmHg, mmHg, e sua relação
- Exercícios de aplicação
- Equação fundamental da hidrostática
- Exercícios de aplicação
- Princípio de Pascal
- Líquidos imiscíveis em vasos comunicantes
- Aparelhos hidráulicos. A prensa hidráulica, a bomba hidráulica e os manômetros de pressão
- Princípio de Arquimedes e força de impulsão ou empuxo
- Condições de flutuação dos corpos
- Exercícios de aplicação

Págs. 76 a 121

Digitalizado com CamScanner

Introdução

A atmosfera e os oceanos são fluidos abundantes no nosso planeta. Também no organismo humano e no organismo de outros seres vivos circulam fluidos, como o sangue e o ar.

Mas o que é um fluido? O termo designa tanto gases como líquidos, ou seja, substâncias capazes de escapar por uma abertura no recipiente onde estão contidas. Este comportamento não se verifica nos sólidos, pois as forças de ligação entre as suas partículas constituintes são muito maiores.

Estudaremos nesta unidade as leis dos fluidos, como os Princípios de Pascal e de Arquimedes, que são muito antigas.

A mecânica dos fluidos engloba duas grandes áreas: a **hidrostática** e a **hidrodinâmica**. Apesar do prefixo «hidro», de origem grega, significar água, a hidrostática e a hidrodinâmica estudam quaisquer fluidos. A hidrostática analisa fluidos em equilíbrio estático e a hidrodinâmica analisa fluidos em movimento. Nesta unidade debruçar-nos-emos sobre a estática dos fluidos, mas vamos começar por recordar os principais conceitos do estudo de fluidos, como os de densidade de uma substância e de pressão.

Principais conceitos

Densidade de uma substância

Experiência

Relação entre a massa e volume

Material

- Seis cubos com as mesmas dimensões (5 ou 10 cm de aresta) feitos de materiais diferentes (isotermo (A), pinho (B), umbila (C), ferro (D), barro (E) e alumínio (F)).

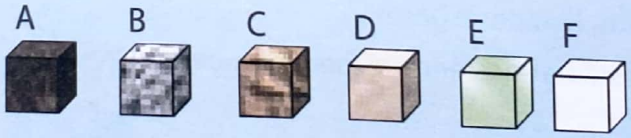


Fig. 3.1 Seis cubos de materiais diferentes

Procedimento

Sem usar a balança, isto é, fazendo apenas uma avaliação por pesagem manual, ordenar os cubos por ordem crescente das suas massas: isotermo, pinho, umbila, barro, alumínio e ferro.

Responde

1. Por que é que, apesar de serem iguais em tamanho, os cubos não possuem a mesma massa?
2. Qual é o cubo mais compacto, isto é, aquele cuja massa está mais concentrada? E o menos compacto?
3. Por que é que tendo maior massa que os outros, o cubo de ferro tem o mesmo tamanho que os restantes?
4. Imagina que os seis cubos, em vez de possuírem o mesmo volume (mesmas dimensões), possuíssem a mesma massa de 2 kg. Qual seria o cubo de maior volume? E qual seria o cubo de menor volume? Justifica a resposta.

Digitalizado com CamScanner

À pergunta: «Qual pesa mais, um quilograma de chumbo ou um quilograma de algodão?», é claro que, quando alguém responde incorrectamente (dizendo que é o chumbo), está a basear-se no conhecimento de que o chumbo é mais denso do que o algodão.

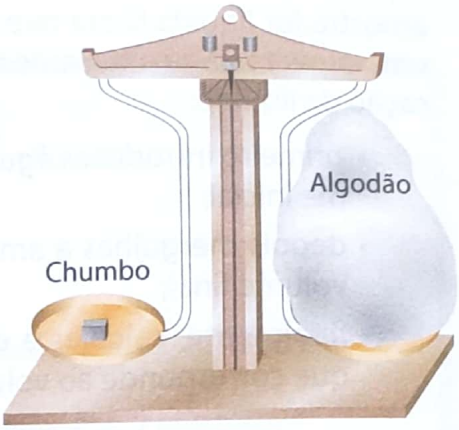


Fig. 3.2 Um quilograma de chumbo equilibra um quilograma de algodão.

O latão, que é uma liga de cobre e zinco, era outrora conhecido por «ouro espanhol», porque o seu aspecto era confundido com o do ouro. Contudo, existe uma importante diferença entre estes. O ouro é mais denso do que o latão. Isto é, se compararmos um anel de ouro com um anel de latão com o mesmo volume (por exemplo, 1 cm^3), o de ouro pesa mais, ou seja, tem massa maior.

A massa por unidade de volume é chamada massa volúmica e é maior no caso do ouro. Esta massa por unidade de volume é também chamada densidade. Representa-se pela letra grega ρ (lê-se «ró») e calcula-se dividindo a massa de uma porção de substância pelo volume que ocupa.

$$\text{Massa volúmica} = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}}$$

Exprime-se, por exemplo, em gramas.

Exprime-se, por exemplo, em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

Exprime-se, por exemplo, em centímetro cúbico (cm^3).

ou

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- Corpos de **substâncias diferentes com o mesmo volume**, tem **maior densidade** o corpo de **maior massa**.
- Corpos de **substâncias diferentes com a mesma massa**, tem **maior densidade** o corpo de **menor volume**.

Por exemplo, a densidade do ouro é $\rho = 19\ g/cm^3$, o que significa que 1 cm^3 de ouro tem 19 g de massa.

No SI, a densidade é medida em kg/m^3. Uma unidade muito usada é o g/cm^3:

$$1\ g/cm^3 = 1\,000\ kg/m^3$$

Existem aparelhos, chamados densímetros, que permitem determinar a densidade de uma substância líquida, bastando para tal mergulhar o aparelho na amostra.

No entanto, se não possuíres um densímetro ou se a tua amostra for sólida, para determinares experimentalmente a sua densidade tens de determinar a sua massa e o seu volume. Para determinares a massa basta colocares a amostra numa balança e anotares o valor indicado, para determinares o volume, a técnica adequada depende do estado físico da amostra. Se a tua

Digitalizado com CamScanner

amostra for líquida basta que meças o seu volume, recorrendo, por exemplo, a uma pipeta ou a uma proveta. Já se a tua amostra for um sólido irregular é necessário recorrer à técnica da deslocação de líquido:

- primeiro introduzes água numa proveta e registas o volume inicial;
- depois mergulhas a amostra sólida na água e registas o volume final;
- finalmente, calculas a diferença entre os dois volumes, que corresponde ao volume do teu sólido:

$$V_{sólido} = V_{final} - V_{inicial}$$

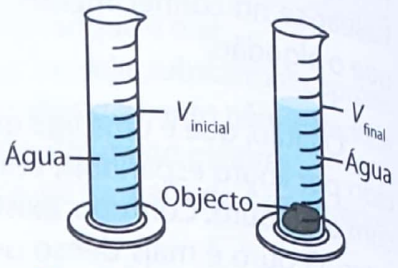


Fig. 3.3 Técnica de deslocação de líquido.

Se for um sólido regular, podes facilmente calcular o seu volume recorrendo às fórmulas matemáticas, tuas conhecidas, para o cálculo de volumes de cubos, paralelepípedos, cilindros, esferas, etc.

Experiência

Determinação da densidade ou massa volúmica de uma substância

Material

- Chapa de cobre
- Fio de cobre
- Chapa de alumínio
- Água
- Proveta
- Balança

Procedimento



Fig. 3.4 Determinação da densidade.

1. Colocar a chapa de cobre na balança e registar o valor da sua massa.
2. Determinar o volume da chapa de cobre por deslocamento da água numa proveta.
3. Proceder de igual modo utilizando o fio de cobre, em vez da chapa de cobre.
4. Proceder de igual modo para a chapa de alumínio.
5. Registar os valores das massas e dos volumes de cada um dos metais em estudo.

Calcula e responde

- Calcula a massa por unidade de volume, isto é, a densidade de cada metal.
- Que relação existe entre a densidade de uma substância e a forma ou tamanho da respectiva amostra?

Da experiência anterior podemos verificar que a densidade do cobre é cerca de 9 g/cm^3 e a densidade do alumínio é menor do que a do cobre, sendo de 3 g/cm^3. Estes valores não dependem nem do tamanho nem da forma da amostra considerada. O mesmo acontece para qualquer outra substância sólida. A **densidade** de uma substância sólida **não depende** nem do tamanho nem da **forma** da amostra: **é uma característica da substância**. Numa mistura heterogénea de água e azeite, o azeite fica em cima porque é menos denso do que a água. O gelo flutua na água, o que significa que é menos denso do que a água líquida: a sua densidade é, aproximadamente, 0,9 g/cm^3, enquanto a da água líquida é 1 g/cm^3. Assim, a densidade de uma substância depende do estado físico em que se encontre.

Digitalizado com CamScanner

amostra for líquida basta que meças o seu volume, recorrendo, por exemplo, a uma pipeta ou a uma proveta. Já se a tua amostra for um sólido irregular é necessário recorrer à técnica da deslocação de líquido:

- primeiro introduzes água numa proveta e registas o volume inicial;
- depois mergulhas a amostra sólida na água e registas o volume final;
- finalmente, calculas a diferença entre os dois volumes, que corresponde ao volume do teu sólido:

$$V_{sólido} = V_{final} - V_{inicial}$$

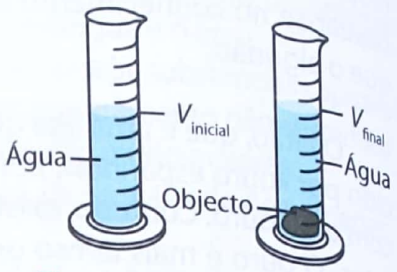


Fig. 3.3 Técnica de deslocação de líquido.

Se for um sólido regular, podes facilmente calcular o seu volume recorrendo às fórmulas matemáticas, tuas conhecidas, para o cálculo de volumes de cubos, paralelepípedos, cilindros, esferas, etc.

Experiência

Determinação da densidade ou massa volúmica de uma substância

Material

- Chapa de cobre
- Fio de cobre
- Chapa de alumínio
- Água
- Proveta
- Balança

Procedimento

1. Colocar a chapa de cobre na balança e registar o valor da sua massa.
2. Determinar o volume da chapa de cobre por deslocamento da água numa proveta.
3. Proceder de igual modo utilizando o fio de cobre, em vez da chapa de cobre.
4. Proceder de igual modo para a chapa de alumínio.
5. Registar os valores das massas e dos volumes de cada um dos metais em estudo.

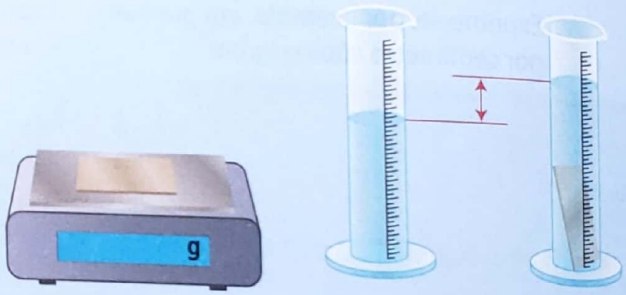


Fig. 3.4 Determinação da densidade.

Calcula e responde

- Calcula a massa por unidade de volume, isto é, a densidade de cada metal.
- Que relação existe entre a densidade de uma substância e a forma ou tamanho da respectiva amostra?

Da experiência anterior podemos verificar que a densidade do cobre é cerca de 9 g/cm^3 e a densidade do alumínio é menor do que a do cobre, sendo de 3 g/cm^3. Estes valores não dependem nem do tamanho nem da forma da amostra considerada. O mesmo acontece para qualquer outra substância sólida. A **densidade** de uma substância sólida **não depende** nem do tamanho nem da **forma** da amostra: **é uma característica da substância**. Numa mistura heterogénea de água e azeite, o azeite fica em cima porque é menos denso do que a água. O gelo flutua na água, o que significa que é menos denso do que a água líquida: a sua densidade é, aproximadamente, 0,9 g/cm^3, enquanto a da água líquida é 1 g/cm^3. Assim, a densidade de uma substância depende do estado físico em que se encontre.

Digitalizado com CamScanner

Exercícios resolvidos

1. Um cubo de ferro com 10 cm de aresta tem a massa de 7 800 g.

a) Determina a densidade do ferro em g/cm^3 e em kg/m^3.

b) Explica o significado do valor encontrado na alínea anterior.

Resolução

a) $\rho = \frac{m}{V}$ tratando-se de um cubo, o seu volume é dado pela relação: $V = a^3 = 1\,000\ cm^3$

$$\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow \rho = \frac{7\,800\ g}{1\,000\ cm^3} \Leftrightarrow 7{,}8\ g/cm^3 \quad \text{ou} \quad \rho = 7{,}8 \cdot 1\,000\ kg/m^3 = 7\,800\ kg/m^3$$

A densidade é $7{,}8\ g/cm^3$ ou $7\,800\ kg/m^3$.

b) Dizer que a densidade do ferro é de $7{,}8\ g/cm^3$ ($7\,800\ kg/m^3$) é o mesmo que afirmar que cada fragmento de ferro com o volume de $1\ cm^3$ possui uma massa de 7,8 g.

2. A densidade absoluta da gasolina é $0{,}7\ g/cm^3$. Qual é o volume ocupado por 420 g de gasolina?

Resolução

$$\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{420\ g}{0{,}7\ g/cm^3} = 600\ cm^3$$

O volume é de $600\ cm^3$.

3. Um pedaço de pão é comprimido por uma pessoa, entre as suas mãos.

a) A massa do pedaço de pão aumenta, diminui ou não varia?

b) E o volume do pedaço de pão?

c) E a densidade do pão? Explica.

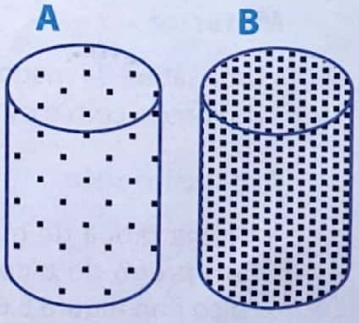
Resolução

a) A massa (quantidade de matéria) não se altera, mantém-se constante.

b) O volume do pedaço de pão, ao ser comprimido, diminui (propriedade da compressibilidade, estudada na 8.ª Classe).

c) Diminuindo o volume, mas mantendo-se a massa, a densidade do pedaço de pão irá aumentar, isto é, a concentração da massa torna-se maior.

4. A figura mostra a distribuição das moléculas em dois cilindros com o mesmo volume, A e B, feitos de substâncias diferentes. Qual dos cilindros é feito da substância de maior densidade? Justifica a resposta.



Resolução

O cilindro B é mais denso do que o A, porque a distribuição das suas moléculas é mais compacta do que no cilindro A, isto é, no cilindro B existem mais moléculas por unidade de volume do que no cilindro A.

Digitalizado com CamScanner

Pressão exercida por sólidos, líquidos e gases

As forças que se exercem entre os corpos cujas superfícies estão em contacto entre si chamam-se forças de contacto e são particularmente importantes pelos efeitos que provocam.

Se essas forças se exercem perpendicularmente à superfície de contacto entre os corpos, são forças de pressão e transmitem-se uniformemente a toda a superfície.

Os seus efeitos sobre as superfícies em que actuam podem ser medidos por uma outra grandeza física, a **pressão** (*p*).

Para definirmos esta grandeza, vamos indicar algumas situações que nos são comuns no nosso quotidiano.

Experiência

Pressão – situação 1

Material

- Um embrulho pesado atado com uma corda
- Um embrulho mais pesado que o anterior, atado com uma corda

Procedimento

1. Segurar num embrulho atado com uma corda durante 2 minutos.
2. Largá-lo e observar a tua mão.
3. De seguida, segurar um embrulho mais pesado durante o mesmo tempo.
4. Largá-lo e observar a tua mão.



Fig. 3.5 Montagem experimental

Análise das observações

Podes verificar que quando seguras o embrulho mais leve e o largas, na tua mão fica um vinco devido ao peso do embrulho que se exerce sobre a tua mão através da corda.

Ao segurares o embrulho mais pesado durante o mesmo tempo, o vinco na tua mão é maior e a mão dói-te mais.

A diferença entre estas duas situações está na intensidade das forças de pressão exercidas na mão, que são também diferentes. Quanto maior a força de pressão, maior a pressão sobre a mão e maior é o vinco.

Experiência

Pressão – situação 2

Material

- Uma tábua de madeira
- Um prego com o bico largo
- Um prego com o bico fino
- Um martelo

Procedimento

1. Numa tábua de madeira martelar, com a mesma força, um prego de bico largo (figura 3.6 **A**) e um prego de bico fino (figura 3.6 **B**).
2. Registar as observações.

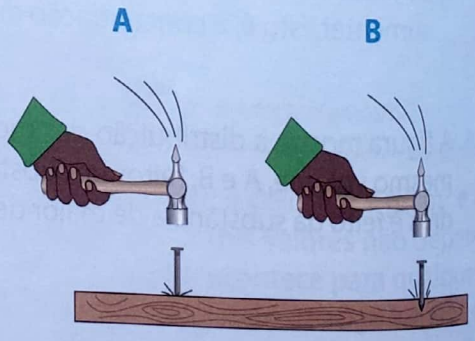


Fig. 3.6 Montagem experimental

Análise das observações

Podes verificar que o prego com o bico fino enterra-se mais porque a área da sua superfície é menor. A força exercida pelo martelo vai distribuir-se por uma menor área, logo a pressão sobre o prego é maior.

Digitalizado com CamScanner

Pressão é a intensidade da força exercida por unidade de superfície.

Para uma dada força, quanto menor for a área da superfície sobre a qual essa força é aplicada, maior é a pressão e maior é o efeito da força.

Podemos concluir que a pressão resultante da acção de uma força exercida sobre uma superfície, é uma grandeza escalar que depende da intensidade da força e da área da superfície sobre a qual actua a força.

A expressão que permite calcular a pressão é:

$$p = \frac{F}{S}$$

onde: p é a pressão em N/m^2; F é a intensidade da força aplicada em N; S é a área da superfície de contacto, em m^2.

- Para a **mesma força aplicada** (F), a pressão é **tanto maior quanto menor** for a área da superfície de contacto.
- Para a **mesma superfície de contacto** (S), a pressão é **tanto maior quanto maior** for a força aplicada nessa superfície.

Os líquidos e os gases também exercem pressão sobre os recipientes onde se encontram. A pressão que o ar atmosférico exerce sobre nós é um exemplo disso.

Experiência

Pressão – situação 3

Material

- Um balde
- Objecto pontiagudo

Procedimento

1. Num balde fazer três orifícios iguais: um próximo do fundo, outro no meio e outro próximo do cimo.
2. Encher o balde com água.
3. Registar as observações.

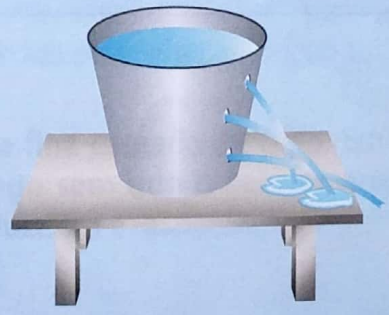


Fig. 3.7 Montagem experimental

Responde

A água sairá em esguicho pelos três orifícios, mas o esguicho de água que sai do furo no fundo do balde é maior.

- Por que é que a água sai em esguicho?
- Onde é maior a pressão exercida sobre a superfície do balde?

Digitalizado com CamScanner

Unidades de pressão

No SI, a força é medida em **newton** (N) e a superfície em m^2. Assim, da expressão que define a pressão, facilmente se conclui que a unidade de pressão no SI é o N/m^2. A esta unidade (N/m^2) foi dada o nome de **pascal** (Pa), em homenagem ao físico francês Blaise Pascal.

Outras unidades de pressão

- **atmosfera** é a pressão exercida por uma coluna de mercúrio com 0,760 m (760 mm) de altura num lugar onde a aceleração da gravidade é de $9,8\ m/s^2$.
- **bária** é a unidade de pressão no sistema CGS e vale $1 dyn/cm^2$.
- **bar** é um múltiplo da bária: $1\ bar = 10^6$ bárias.
- **psi** (*pound per square inch*), libra por polegada quadrada, é a unidade de pressão no sistema inglês/americano: 1 psi = 0,07 bar; 1 bar = 14,5 psi.

A tabela 1 apresenta os valores para as transformações das diferentes unidades de pressão.

Por exemplo: $1\ atm = 1,013 \cdot 10^5\ Pa$

Tabela 1: Conversão das diferentes unidades de pressão

	atmosfera	pascal	bária	bar	milibar ou kPa	mmHg	mH_2O	kgf/cm^2
atmosfera	1	$1,013 \times 10^5$	$1,01325 \times 10^6$	1,01325	1 013,25	760,0	10,33	1,033
pascal	$9,869 \times 10^{-6}$	1	10	10^{-5}	0,01	$7,501 \times 10^{-3}$	$1,020 \times 10^{-4}$	$1,019 \times 10^{-5}$
bária	$9,869 \times 10^{-7}$	0,1	1	10^{-6}	0,001	$7,501 \times 10^{-4}$	$1,020 \times 10^{-5}$	$1,020 \times 10^{-6}$
bar	0,9869	100 000	100 000	1	1 000	750,1	10,20	1,020
milibar ou kPa	$9,869 \times 10^{-4}$	100	100	0,001	1	0,7501	$1,020 \times 10^{-2}$	10,20
mmHg	$1,316 \times 10^{-3}$	133,3	133,3	$1,333 \times 10^{-3}$	1,333	1	$1,360 \times 10^{-2}$	13,60
mH_2O	$9,678 \times 10^{-2}$	9 807	$9,807 \times 10^4$	$9,807 \times 10^{-2}$	98,06	73,56	1	0,100
kgf/cm^2	0,968	$9,810 \times 10^4$	$9,810 \times 10^5$	0,9810	981,0	735,8	10,00	1

Digitalizado com CamScanner

Exercícios resolvidos

1. Uma jovem de 50 kg calça sapatos de salto alto e fino cuja superfície é de 1 cm^2. Um rapaz de 75 kg calça botas de cabedal rasas cuja superfície da base mede 100 cm^2.
a) Quem exerce maior pressão, a jovem ou o rapaz? Justifica a resposta.
b) Calcula a pressão que cada um exerce.



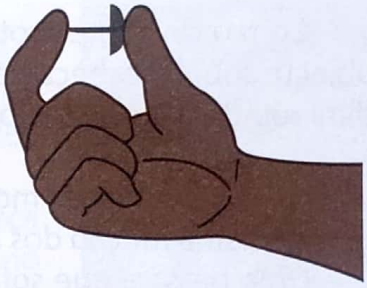


Resolução

a) A jovem exerce maior pressão porque, embora tenha menos massa e, consequentemente, menos peso que o rapaz, a superfície do salto do seu sapato é muito menor que a da sola da bota do rapaz.

b) $p = \frac{F}{S} \Leftrightarrow p_{rapariga} = \frac{50\ kg \cdot 10\ m/s^2}{1\ cm^2} = 500\ N/cm^2$ e $p_{rapaz} = \frac{75\ kg \cdot 10\ m/s^2}{100\ cm^2} = 7{,}5\ N/cm^2$

2. José, aluno da 9.ª classe, aperta uma tachinha entre os dedos, como mostra a figura ao lado. A cabeça da tachinha está apoiada no polegar e a ponta no indicador. Sejam F_{ind} o módulo da força e p_{ind} a pressão que a tachinha faz sobre o dedo indicador do José. Sobre o polegar, essas grandezas são, respectivamente, F_{pol} e p_{pol}. Considerando-se essas informações, indica a afirmação verdadeira:



A. $F_{ind} > F_{pol}$ e $p_{ind} > p_{pol}$
B. $F_{ind} < F_{pol}$ e $p_{ind} > p_{pol}$
C. $F_{ind} = F_{pol}$ e $p_{ind} > p_{pol}$
D. $F_{ind} = F_{pol}$ e $p_{ind} = p_{pol}$

Resolução

A força que a tachinha faz sobre o indicador é a mesma que faz sobre o polegar, em virtude da Lei da acção-reacção (3.ª Lei de Newton), estudada na 8.ª classe. Contudo, devido ao facto da ponta da tachinha ter uma superfície menor que a da cabeça, a pressão sobre o indicador (exercida pela ponta) será maior que a pressão sobre o polegar (exercida pela cabeça). Opção **C.**

3. Um indivíduo deve atravessar um lago coberto com uma fina camada de gelo. Em que situação ele tem maior probabilidade de atravessar o lago sem que o gelo se quebre, andando normalmente ou arrastando-se deitado no gelo? Justifica a resposta.

Resolução

É mais fácil atravessar o lago coberto de uma camada fina de gelo arrastando-se, porque vai haver menor pressão no deslocamento do corpo sobre o gelo. Isto ocorre porque a pressão é inversamente proporcional à área de contacto. O corpo deitado possui maior superfície do que estando de pé.

Digitalizado com CamScanner

Física no dia-a-dia

Pressão. Cinto e capacete de segurança

O conceito de pressão aparece-nos em múltiplas aplicações do nosso quotidiano.

Uma delas é o uso do capacete por certos profissionais, como por exemplo, os da construção civil para protegerem a cabeça.



Fig. 3.8 Uso do capacete de segurança na construção civil.

Com o capacete protector feito de material apropriado (rígido e resistente), quando cai um objecto sobre a cabeça de uma pessoa, a força aplicada é distribuída pela superfície do capacete, diminuindo a pressão e, portanto, o efeito do embate.

Os condutores de motos também são obrigados por lei a utilizar capacetes protectores que têm a mesma função dos anteriores, embora sejam diferentes na forma e constituição.

Uma pessoa, que sofra um embate na cabeça, resultante de uma colisão num local da via, noutro automóvel ou noutro obstáculo, está sujeita a uma força de pressão muito elevada, na zona craniana onde embateu.

O capacete sobre a cabeça permite distribuir a força de pressão correspondente ao choque por uma superfície muito maior reduzindo assim a pressão sobre uma zona particular.

Os capacetes são exteriormente constituídos por um material rígido e resistente, além de liso, para permitir que o casco do capacete escorregue com facilidade. Interiormente, os capacetes são revestidos por uma camada espessa de um material maleável. A existência deste forro nos capacetes é também muito importante, pois contribui para fazer diminuir a força de pressão que, no choque, se exerce na caixa craniana do motociclista.



Fig. 3.9 Uso do capacete por condutores de motos.

Digitalizado com CamScanner

A função do forro do capacete é de fazer aumentar um pouco a distância entre a cabeça e o local do embate, o que equivale a aumentar o intervalo de tempo entre o início da colisão e o embate da cabeça propriamente dito. Consequentemente, a força torna-se menor. Assim, a pressão na cabeça da pessoa devido à pancada é diminuída por duas razões: diminui-se a força aplicada sobre esta e aumenta-se a área da superfície sobre a qual actua a força.

Os motociclistas e ciclistas sem capacete estão sujeitos a choques com consequências graves e com possíveis traumatismos cranianos.

O cinto de segurança protege, também, as pessoas que o utilizam, em caso de colisão ou travagem brusca do automóvel em que se deslocam.

Um dos possíveis efeitos das colisões de veículos é a projecção dos passageiros. Os passageiros, se não usam cinto de segurança, encontram-se livres relativamente à estrutura do carro, mas viajam à mesma velocidade que este.

Devido à inércia, se o carro pára bruscamente, os passageiros continuam em movimento à velocidade que traziam e embatem nas paredes do automóvel.

Se o choque é frontal, existe o risco de chocarem com o volante, com o painel dos instrumentos ou no vidro da frente e em casos mais graves, de serem projectados para fora do automóvel.

O efeito do cinto de segurança é impedir os passageiros de baterem violentamente com a cabeça no vidro da frente e no painel, ou, se a violência do choque for muito grande, de impedir que sejam projectados para fora do veículo.



Fig. 3.10 Cinto de segurança

Durante a colisão, o passageiro, sem cinto, fica sujeito a uma força total de impacto da mesma ordem de grandeza da força de impacto no automóvel.

Se o passageiro levar cinto de segurança, a intensidade da força de impacto distribui-se por toda a área do cinto. Como consequência, diminui a intensidade do impacto numa só zona do corpo. O passageiro sente o efeito dessa força através da pressão exercida pelo cinto sobre este.

A colocação do cinto à volta do corpo tem de ser planeada de forma a que o passageiro suporte a pressão exercida sobre ele em zonas do corpo mais resistentes ao impacto.

Um cinto de segurança necessita de ser suficientemente comprido e largo para que a intensidade da força de impacto se distribua pela maior área possível. No entanto, a sua largura tem de permitir que na ausência de perigo, um passageiro se mova.

A maior parte dos cintos de segurança são elásticos, de forma a que o tempo que uma pessoa demora a ficar completamente parada aumente um pouco em relação à duração da colisão. Por esse facto, a força de impacto sobre o passageiro torna-se menor e, consequentemente, a pressão a que o passageiro é sujeito é menor.

Os cintos de segurança têm de ser suficientemente resistentes para não ceder e partir. Por outro lado, não podem ficar demasiado soltos à volta do passageiro, anulando o seu efeito.

Quando ocorre a colisão, ao ser impelido para a frente, o passageiro exerce uma pressão brusca sobre o cinto, o qual tem um sistema que é activado e bloqueia o enrolador, mantendo o cinto sem folgas.

Digitalizado com CamScanner

Uma grande parte dos automóveis já contém um outro dispositivo de segurança: o *airbag*. O *airbag* está colocado no interior do volante e alguns automóveis também já possuem um no interior do *tablier* dianteiro do passageiro da frente.



Fig. 3.11 *Airbag*

Em caso de colisão frontal, o *airbag* enche-se de gás e vem de encontro à cara do condutor, e do passageiro, depois de romper o invólucro onde se encontra, protegendo desta forma as pessoas que viajam à frente e que maior probabilidade têm de sofrer danos em caso de acidente.

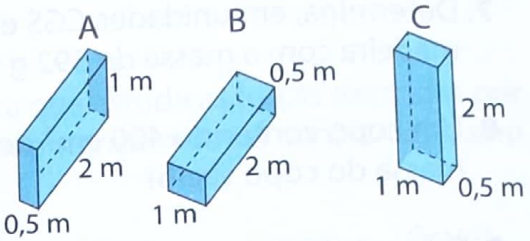
Para evitar um ressalto violento na cabeça, o *airbag* começa a amolecer a partir do fim da insuflagem, deixando escapar gás por um orifício.

Digitalizado com CamScanner

1. A figura representa um bloco com a forma de um paralelepípedo rectângulo, com a massa de 15 kg. Considerando $g = 10\ m/s^2$, responde às questões que se seguem:

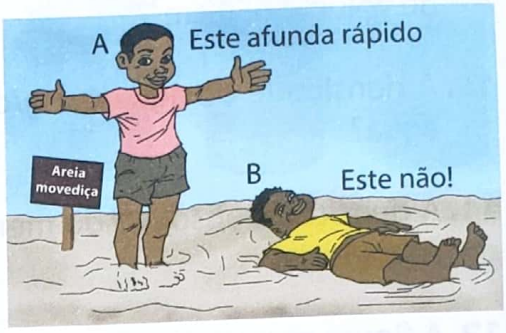
a) Em que caso, A, B ou C, o bloco exerce a maior pressão possível? Justifica a resposta.

b) Determina a pressão exercida pelo bloco em cada caso.



2. Observa a figura que mostra dois meninos numa zona de areias movediças.

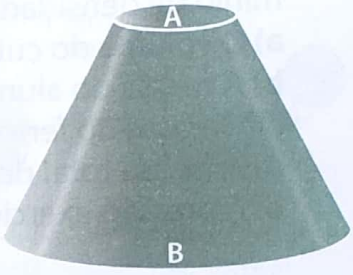
Explica por que é que o menino A afunda mais rápido que o menino B.



3. A figura representa um tronco em forma de um cone trancado com a massa de 12 kg. O raio da base maior é de 10 cm e o da base menor é de 5 cm.

a) Sobre qual das bases, A ou B, o tronco deve ser apoiado de modo a exercer a menor pressão possível?

b) Determina a pressão exercida pelo tronco quando apoiado sobre cada uma das suas bases.



4. Explica as seguintes situações que ocorrem no dia-a-dia, com base no conceito de pressão.

A. É mais fácil cortar um queijo com um fio apropriado do que com uma faca (I).

B. Uma pessoa desloca-se mais facilmente na neve usando esquis do que botas (II).

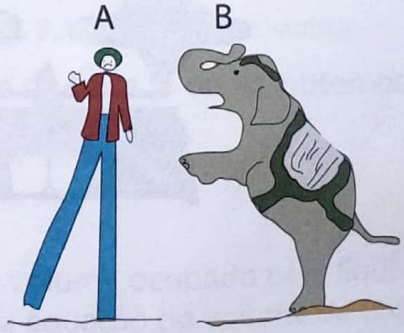
C. Crava-se mais facilmente um prego de aço na parede utilizando a parte pontiaguda (III).



5. Determina a pressão, expressa em unidades do SI, exercida em cada uma das situações:

a) Um homem de circo balança apoiando-se numa das andas, cuja área da superfície de contacto é de 10 cm^2. O peso que o homem exerce no solo é de 800 N (A).

b) Um elefante cujo peso é de 50 000 N ergue-se, apoiando-se em duas patas. A área da superfície de contacto de cada pata é de 1 000 cm^2 (B).



6. Os carros militares de grande porte têm as rodas envolvidas por correias (lagartas), que lhes permitem andar em terrenos moles, sem atolarem. Explica o papel das lagartas para que os carros militares não fiquem atolados.

Digitalizado com CamScanner

7. Determina, em unidades CGS e SI, a densidade da madeira, sabendo que um cilindro feito de madeira com a massa de 592 g ocupa um volume de 740 cm^3.

8. Um copo contendo 400 cm^3 de um líquido com densidade 1,85 g/cm^3 pesou 884 g. Qual é a massa do copo vazio?

9. Sabendo que a densidade do ferro é igual a 7,8 g/cm^3, qual é a massa de um bloco de ferro de volume 650 cm^3?

10. A densidade da água é 1 g/cm^3, a 4 °C. A essa temperatura qual é a massa de 200 cm^3 de água?

11. A densidade absoluta do mercúrio é 13,6 g/cm^3. Calcula o volume ocupado por 680 g dessa substância.

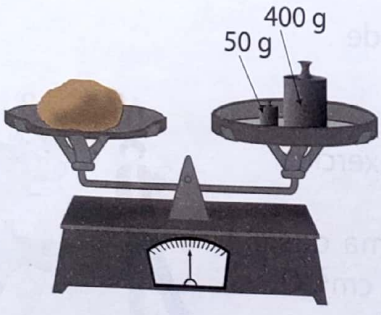
12. A figura representa um cubo com 10 cm de aresta composto por duas metades: uma de alumínio de densidade 2,7 g/cm^3 e outra de ferro de densidade 7,8 g/cm^3. Determina:

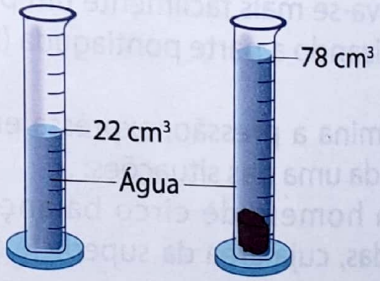
a) O volume do cubo.
b) A massa do alumínio.
c) A massa do ferro.
d) A massa total do cubo.
e) A pressão exercida pelo cubo, em unidades SI.



13. Com o auxílio de uma balança e de uma proveta graduada, a Maria, aluna da 9.ª classe, mediu a densidade de um corpo, procedendo do modo como ilustram as figuras.

a) Após a pesagem, que massa a Maria encontrou para o corpo?
b) Calcula o volume do corpo.
c) Determina a densidade do corpo.





Digitalizado com CamScanner

Hidrostática

A **hidrostática** ou a **estática dos fluidos** é a parte da Física que estuda as forças exercidas por e sobre os fluidos que estão em repouso, sob acção de um campo gravitacional constante, como ocorre quando estamos na superfície da Terra.

As leis que regem a **hidrostática** estão presentes no nosso dia-a-dia, mais do que podemos imaginar, por exemplo, na água que sai da torneira das nossas residências, nas albufeiras das centrais hidroeléctricas que geram energia eléctrica e na pressão que o ar exerce constantemente sobre nós.

A hidrostática permite-nos responder a questões como: «Por que é que um alfinete afunda na água, mas um navio, milhões de vezes mais pesado, ao invés de afundar, flutua?» ou «Por que é que um bloco de ferro afunda na água, mas flutua no mercúrio?».

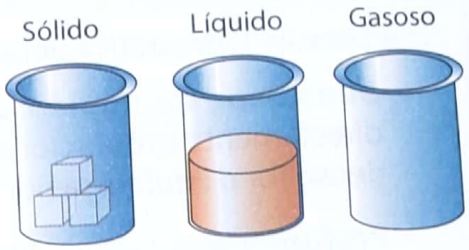


Fig. 3.12 Estados físicos

Propriedades dos líquidos

Um líquido não tem forma própria – adquire a forma do recipiente que o contém, mas tem volume próprio.

A superfície livre de um líquido em repouso é plana e horizontal.

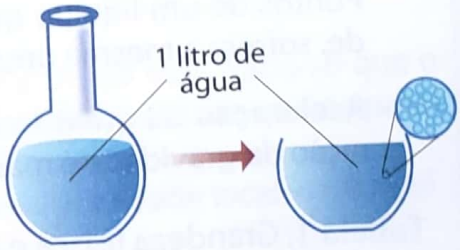


Fig. 3.13 A água assumiu a forma do recipiente, porém não sofreu variação de volume.

Pressão hidrostática

Considera um líquido de densidade ρ contido num recipiente cilíndrico. Este líquido exerce sobre a base do recipiente, de área A (ou S), uma força de pressão F igual ao seu peso, isto é:

$$F = P = m \cdot g$$

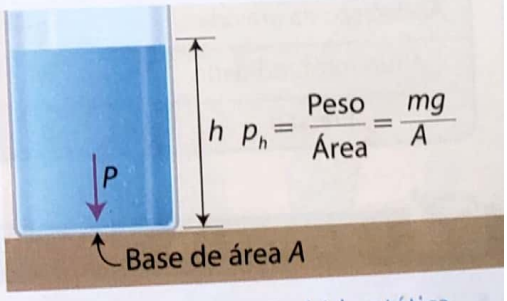


Fig. 3.14 Pressão hidrostática

Como sabemos, se dividirmos a força de pressão pela superfície da base (S ou A), obtemos

$$p = \frac{F}{A} = \frac{P}{A} \Leftrightarrow p = \frac{m \cdot g}{A}$$

a massa do líquido pode ser expressa em função da densidade e do volume ocupado pelo líqui do, ou seja, $m = \rho \cdot V$, e o volume do líquido pode ser expresso pela equação do volume de um cilindro $V = A \cdot h$. Então, a pressão exercida pelo líquido no fundo do recipiente é dada pela expressão:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Digitalizado com CamScanner

Analisando a expressão que nos permite determinar a pressão exercida por um líquido num ponto situado à profundidade *h*, podemos concluir que:

Pressão hidrostática é a pressão exercida por um líquido num ponto situado à profundidade *h*.

A pressão hidrostática depende da:

- **Densidade do líquido**: a pressão exercida por um líquido é directamente proporcional à sua densidade, isto é, quanto mais denso for o líquido, maior é a pressão que ele exerce.
- **Profundidade (altura *h*) a que o ponto se encontra**: a pressão exercida por um líquido em repouso é directamente proporcional à profundidade *h* a que o ponto se encontra, quer dizer, quanto maior for a profundidade *h*, maior é a pressão. Pontos de um líquido que se encontrem à mesma profundidade, sofrem a mesma pressão.

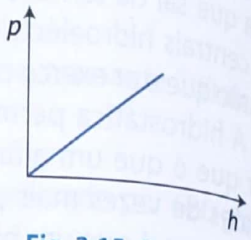


Fig. 3.15 Gráfico da pressão hidrostática em função da altura.

- **Aceleração da gravidade do local onde o líquido se encontra**: nos lugares onde a aceleração da gravidade é maior do que na Terra, a pressão hidrostática aumenta e vice-versa.

Tabela 1: Grandeza físisca e acoxxxx de unidades

Grandeza física	Símbolo da grandeza	Unidade SI	Outra unidade	Correspondência
Densidade	ρ	kg/m^3	g/cm^3	$1\ g/cm^3 = 1\ 000\ kg/m^3$
Aceleração da gravidade	g	m/s^2	cm/s^2	$9{,}8\ m/s^2 = 980\ cm/s^2$
Altura/profundidade	h	m	cm	$1\ cm = 0{,}01\ m$
Pressão	p	N/m^2 = pascal (Pa)	dyn/cm^2 = bária	$1\ N/m^2 = 10$ bária

Exercícios resolvidos

1. Um tanque com 5 m de altura está completamente cheio de um líquido de densidade igual a $1{,}2\ g/cm^3$. Considera a aceleração da gravidade do local igual a $9{,}8\ m/s^2$.

a) Determina a pressão que o líquido exerce no fundo do tanque.

b) Se o tanque estivesse cheio de água (densidade = $1\ 000\ kg/m^3$), qual deveria ser a altura da coluna de água para que a pressão no fundo fosse a mesma?

Resolução

Dados: $\rho = 1{,}2\ g/cm^3 = 1\ 200\ kg/m^3$; $g = 9{,}8\ m/s^2$; $h = 5\ m$

Pedido: p = pressão exercida pelo líquido no fundo

a) $p = \rho \cdot g \cdot h \Leftrightarrow p = 1\ 200 \cdot 9{,}8 \cdot 5 \Leftrightarrow p = 58\ 800\ Pa$ ou $p = 58{,}8\ kPa$

O líquido exerce uma pressão de 58,8 kPa.

Digitalizado com CamScanner

b) $p = \rho \cdot g \cdot h \Leftrightarrow h = \dfrac{p}{\rho_{\text{água}} \cdot g} \Leftrightarrow h = \dfrac{58\,800}{1\,000 \cdot 9{,}8} = 6 \text{ m}$

A altura da água seria de 6 m.

2. Um mergulhador que trabalhe à profundidade de 20 m num lago cujas águas têm uma densidade de 1 g/cm^3 sofre, em relação à superfície, uma variação de pressão, em N/m^2, devido ao líquido, estimada em: (considera $g = 10$ m/s^2)

A. 20 Pa **B.** $2 \cdot 10^2$ Pa **C.** $2 \cdot 10^3$ Pa **D.** $2 \cdot 10^5$ Pa

Resolução

Na superfície livre do lago, o líquido não exerce pressão sobre o mergulhador.
A 20 metros de profundidade, a pressão que o mergulhador sofre é:
$p = \rho \cdot g \cdot h \Leftrightarrow p = 10^3 \cdot 10 \cdot 20 = 2 \cdot 10^5$ Pa Opção **D.**

3. Um oceanógrafo construiu um aparelho para medir profundidades no mar. Sabe-se que o aparelho suporta uma pressão até $2{,}0 \cdot 10^6$ N/m^2. Qual a máxima profundidade que o aparelho pode medir?
Dados: densidade da água do mar $= 1{,}0 \cdot 10^3$ kg/m^3; aceleração da gravidade local $= 10$ m/s^2.

Resolução

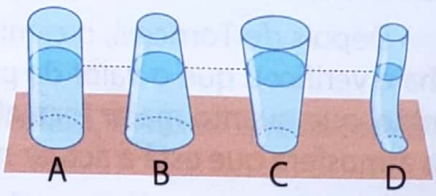
$$p = \rho \cdot g \cdot h \Leftrightarrow h = \frac{p}{\rho_{\text{água}} \cdot g} = \frac{2 \cdot 10^6}{1\,000 \cdot 10} = 200 \text{ m}$$

O aparelho pode medir até 200 m.

4. Os recipientes da figura contêm água. A altura das colunas de água é igual em todos os recipientes.

a) A pressão no fundo desses recipientes é igual? Justifica a resposta.

b) O valor da força que actua no fundo de cada recipiente é o mesmo? Justifica a resposta.



Resolução

a) A pressão exercida por um líquido, no fundo do vaso que o contém, não depende da forma do recipiente. Depende apenas da altura da coluna do líquido, da densidade deste e da aceleração da gravidade do local. Ora, no caso, temos o mesmo líquido (água), isto é, a densidade é a mesma, o local é o mesmo (mesma aceleração da gravidade). Sendo iguais as alturas das colunas de água, então a pressão é a mesma no fundo dos quatro recipientes.

b) $F = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g = \rho \cdot A \cdot h \cdot g \Leftrightarrow$ A força de pressão será tanto maior quanto maior for a área da base do recipiente. Sendo assim $F_B > F_A > F_C > F_D$.

Digitalizado com CamScanner

Pressão atmosférica

A atmosfera terrestre é composta por vários gases que exercem uma 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, o ar torna-se cada vez mais rarefeito, e, portanto, exerce uma pressão cada vez menor.

O físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647) realizou uma experiência para determinar a pressão atmosférica ao nível do mar.

Torricelli encheu com mercúrio um tubo de vidro, de cerca de 1 m. Tapou a abertura, inverteu-o numa tina com mercúrio e destapou a abertura: o mercúrio desceu no tubo mas não escorreu todo para a tina, como mostra a figura 3.16.

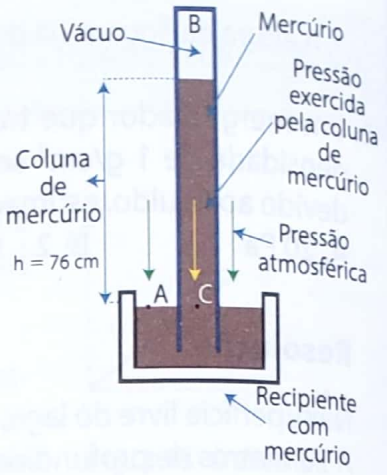


Fig. 3.16 Experiência de Torricelli

Permaneceu uma coluna de mercúrio no tubo de altura h com vazio por cima. A coluna de mercúrio é sustentada pelas forças de pressão devidas à atmosfera. O ponto A está à mesma pressão que o ponto C, ou seja, à pressão atmosférica e o ponto B à pressão nula (ou, mais correctamente, a uma pressão muito baixa, que se deve à existência de algum vapor de mercúrio na parte «vazia» do tubo).

Torricelli concluiu que a pressão atmosférica, p_{atm}, actuando na superfície livre do líquido no recipiente, conseguia equilibrar a coluna de mercúrio. O espaço vazio sobre o mercúrio, no tubo, constitui a chamada câmara barométrica, onde a pressão é praticamente nula (vácuo).

Como a coluna de mercúrio que equilibrou a pressão atmosférica foi de 76 cm, convencionou-se que **a pressão atmosférica ao nível do mar equivale à pressão de uma coluna de mercúrio com 76 cm de altura**. Por isso, quando se indica a pressão em milímetros ou centímetros de mercúrio (mmHg ou cmHg) está a recordar-se a experiência de Torricelli. Lembrando que a pressão de uma coluna de líquido é dada por $p = \rho \cdot g \cdot h$, temos no SI: $p_{atm} = 13\,600 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}76 \approx 1{,}01 \cdot 10^5$ Pa. Esta pressão é chamada **pressão atmosférica normal**.

Depois de Torricelli, o cientista francês Pascal repetiu a experiência no alto de uma montanha e verificou que o valor da pressão atmosférica era menor do que ao nível do mar. Concluiu, então, que quanto maior for a altitude do local, mais rarefeito será o ar e menor será a espessura da atmosfera que está a actuar na superfície do mercúrio.

A pressão atmosférica maior é obtida ao nível do mar (altitude nula). Para qualquer outro ponto acima do nível do mar, a pressão atmosférica é menor.

Pressão atmosférica é a pressão exercida pelo ar sobre todos os corpos nele mergulhados.

Em conclusão,

- Ao **nível do mar**, a pressão atmosférica é dita normal e é equivalente à pressão exercida por uma coluna de mercúrio de 76 cm de altura. Assim,

$$p_{atm} = 13\,600 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}76 \approx 1{,}01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

- À medida que formos subindo, o ar torna-se mais rarefeito e, por isso, a pressão atmosférica diminui.

Digitalizado com CamScanner

Equação fundamental da hidrostática

Considere dois pontos, A e B, no seio de um líquido em repouso. Sejam h_A e h_B as profundidades a que se encontram esses pontos. É possível escrever a pressão para cada um desses dois pontos distintos da seguinte forma:

$$p_A = \rho \cdot g \cdot h_A \quad \text{e} \quad p_B = \rho \cdot g \cdot h_B$$

É fácil perceber que a pressão a que o ponto B está sujeito é maior que a pressão a que o ponto A é submetido, isto é, $p_B > p_A$, porque $h_B > h_A$, ou seja, o ponto B, a maior profundidade, deve suportar a pressão de uma maior coluna de líquido.

Isto significa que entre os dois pontos em questão, A e B, há uma diferença de pressão, $\Delta p = p_B - p_A$, que pode ser determinada do seguinte modo:

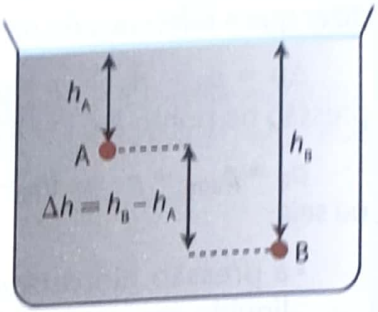


Fig. 3.17 Pontos a profundidades diferentes estão a pressões diferentes.

$$\Delta p = p_B - p_A \Leftrightarrow p_B - p_A = \rho \cdot g \cdot h_B - \rho \cdot g \cdot h_A \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow p_B - p_A = \rho \cdot g \cdot (h_B - h_A) \Leftrightarrow p_B - p_A = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

Sendo assim, analisando a última expressão, que nos dá a diferença de pressão entre os pontos A e B, podemos enunciar a **Lei Fundamental da Hidrostática**.

Lei Fundamental da Hidrostática: a diferença de pressão ($\Delta p = p_B - p_A$) entre dois pontos, A e B, de um líquido em repouso é igual ao produto da densidade do líquido (ρ), pela aceleração da gravidade do local (g) e pela diferença de níveis (Δh) entre esses pontos.

$$p_B - p_A = \rho \cdot g \cdot \Delta h \text{ ou } \Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

A equação fundamental da hidrostática permite-nos, de imediato, concluir que no interior de um líquido em equilíbrio estático:

- pontos que se encontram no mesmo plano horizontal suportam a mesma pressão;
- a pressão não depende da forma do recipiente que contém o líquido.

Se as alturas do líquido forem as mesmas nos dois recipientes, as pressões são iguais.

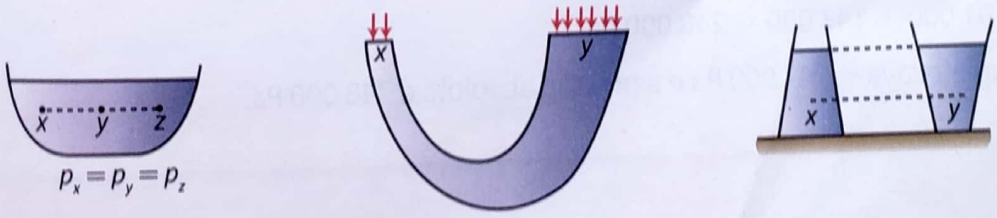


Fig. 3.18 Pontos no mesmo plano horizontal suportam a mesma pressão.

Digitalizado com CamScanner

Pressão hidrostática absoluta num ponto

Considere um líquido contido num recipiente aberto para a atmosfera. Na superfície livre superior (A) desse líquido age a pressão atmosférica (p_{atm}), exercida pela coluna de ar que está sobre ele. Num ponto qualquer B do interior do líquido, a pressão (p_B) que age é a soma da pressão atmosférica com a pressão exercida pela coluna líquida acima dele.

De acordo com a Lei Fundamental da Hidrostática, podemos dizer que a diferença de pressão entre os pontos A e B é igual a:

$\Delta p = p_B - p_A = \rho \cdot g \cdot \Delta h \Leftrightarrow p_B - p_A = \rho \cdot g \cdot \Delta h$ e como a pressão no ponto A é igual à pressão atmosférica, vem:

$p_B = p_{atm} + \rho \cdot g \cdot (h_B - h_A)$, como $h_A = 0 \Leftrightarrow p_B - p_{atm} = \rho \cdot g \cdot h$, ou seja:

- a pressão hidrostática absoluta, num ponto no seio de um líquido em repouso, é igual à soma da pressão atmosférica com a pressão exercida pela coluna líquida que se encontra acima desse ponto;
- o gráfico da pressão total, p, em função da altura (profundidade), h, é uma recta inclinada.

$$p_{Abs} = p_{atm} = \rho \cdot g \cdot h$$

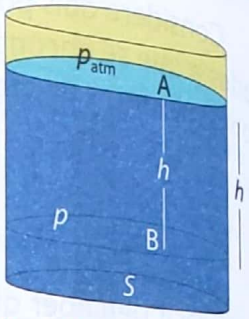


Fig. 3.19 Pressão hidrostática absoluta num ponto.

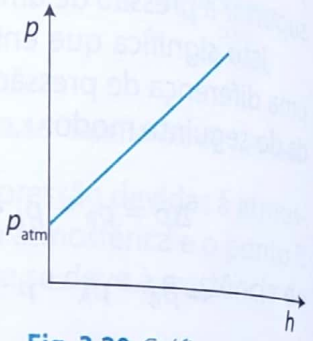


Fig. 3.20 Gráfico da pressão total em função da altura (profundidade).

Exercícios resolvidos

1. A pressão atmosférica numa determinada cidade corresponde a 760 mmHg. Calcula as pressões efectiva e absoluta no fundo de uma lagoa a 15 m de profundidade sabendo que a densidade da água é de 1 000 kg/m³ e $g = 9{,}8$ m/s².

Resolução

A pressão efectiva no fundo da lagoa é a pressão exercida apenas pela água, isto é, sem contar com a pressão atmosférica:

$p = \rho \cdot g \cdot h \Leftrightarrow p = 1\,000 \cdot 9{,}8 \cdot 15 = 147\,000$ Pa

A pressão absoluta é a soma das pressões atmosférica do local e efectiva. Como a pressão atmosférica do local é de 760 mmHg = 1 atm = 101 000 Pa, teremos:

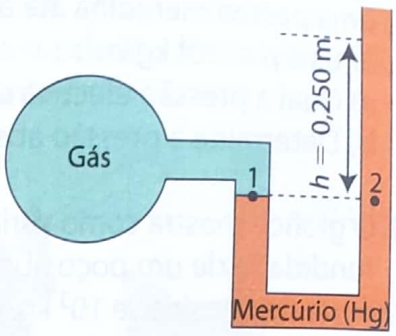
$p_{abs} = 101\,000 + 147\,000 = 248\,000$ Pa

A pressão efectiva é 147 000 Pa e a pressão absoluta é 248 000 Pa.

Digitalizado com CamScanner

2. Na figura ao lado está representado um manómetro de mercúrio (Hg) ligado a um recipiente fechado contendo gás a determinada pressão. Sendo dados: $p_{atm} = 1{,}01 \cdot 10^5$ Pa (pressão atmosférica local), $\rho = 13{,}6 \cdot 10^3$ kg/m^3 (densidade do mercúrio) e $g = 9{,}81$ m/s^2 (aceleração da gravidade).

Determina a pressão do gás ($p_{gás}$) quando o desnível da coluna de mercúrio for de 25 cm.



Resolução

Observa que a pressão do gás é maior que a pressão atmosférica porque o nível de mercúrio ligado ao gás está abaixo do nível do ramo aberto. Como a pressão nos pontos (1) e (2) é a mesma, podemos escrever:

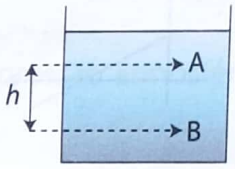
$p_{gás} = p_{atm} + \rho \cdot g \cdot h$, temos:

$p_{gás} = (1{,}01 \cdot 10^5) + 13{,}6 \cdot 10^3 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}250$

$p_{gás} = 1{,}01 \cdot 10^5 + 0{,}333 \cdot 10^5$

$p_{gás} = 1{,}34 \cdot 10^5$ Pa

3. A diferença de pressão estática medida entre dois pontos dentro de um líquido em equilíbrio estático é de $5 \cdot 10^3$ Pa. Sabendo que o líquido é a água com densidade absoluta $\rho = 10^3$ kg/m^3 e que no local $g = 10$ m/s^2, responde:



a) Determina o desnível entre os dois pontos.

b) Se a pressão no ponto B for de $6{,}2 \cdot 10^3$ Pa, qual é a pressão no ponto A?

Resolução

a) A diferença de pressão entre os dois pontos é dada pela equação fundamental da hidrostática:

$$p_B - p_A = \rho \cdot g \cdot \Delta h \Leftrightarrow \Delta h = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} \Leftrightarrow \Delta h = \frac{5 \cdot 10^3}{10^3 \cdot 10} = 0{,}5 \text{ m}$$

O desnível é de 0,5 m.

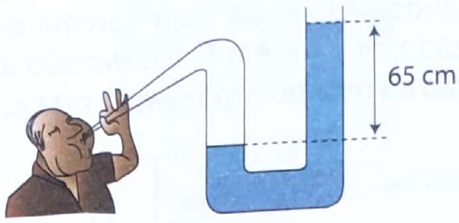
b) $\Delta p = p_B - p_A \Leftrightarrow p_A = p_B - \Delta p = 6{,}2 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^3 \Leftrightarrow p_A = 1{,}2 \cdot 10^3$ Pa

No ponto A a pressão é $1{,}2 \cdot 10^3$ Pa

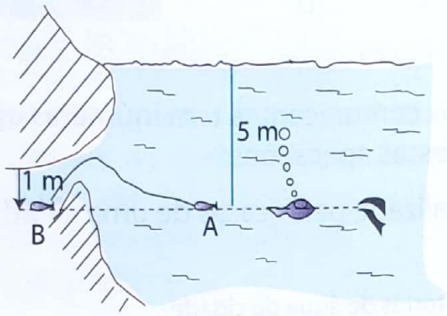
Digitalizado com CamScanner

21. Com um máximo de expiração, um estudante, soprando de um lado de um manómetro cujo líquido manométrico é a água, produz um desnível do líquido de aproximadamente 65 cm entre os dois ramos do tubo manométrico. Sendo $1 \cdot 10^5$ Pa a pressão atmosférica local, podes afirmar que a pressão exercida pelos pulmões do estudante é de:

A. 1,065 Pa
B. 1,065 kPa
C. 106,5 kPa
D. 1 065 Pa



22. Um mergulhador persegue um peixe, 5 m abaixo da superfície de um lago. O peixe foge da posição A e esconde-se numa gruta na posição B, conforme mostra a figura.



Considera que a aceleração da gravidade do local é igual a 10 m/s^2 e a pressão atmosférica na superfície da água é igual a $1{,}0 \cdot 10^5$ N/m^2.

a) Qual é a pressão sobre o mergulhador?

b) Qual é a variação de pressão sobre o peixe nas posições A e B?

23. Calcula em pascal (Pa) a diferença de pressão entre dois pontos situados a 2,0 m e a 5,0 m de profundidade num líquido de densidade 800 kg/m^3. Usa $g = 10$ m/s^2.

24. Na experiência de Torricelli, o cientista usou um tubo com 1 m de comprimento e, como líquido, o mercúrio, cuja densidade é muito alta, $\rho_{Hg} = 13\,600$ kg/m^3. Qual deveria ser o comprimento do tubo de Torricelli se o líquido usado fosse:

a) Água de densidade 1 000 kg/m^3.

b) Óleo de densidade 0,8 g/cm^3.

Digitalizado com CamScanner

Vasos comunicantes

Em virtude da Lei Fundamental da Hidrostática, a pressão é a mesma para a mesma profundidade, independentemente da forma do recipiente. Por isso, um líquido fica à mesma altura quando despejado num sistema de vasos comunicantes: a pressão no cimo da superfície do líquido, em A e em E, é a pressão atmosférica e os pontos B, C e D têm a mesma pressão pois estão ao mesmo nível, sendo esta pressão superior à pressão de A e E.

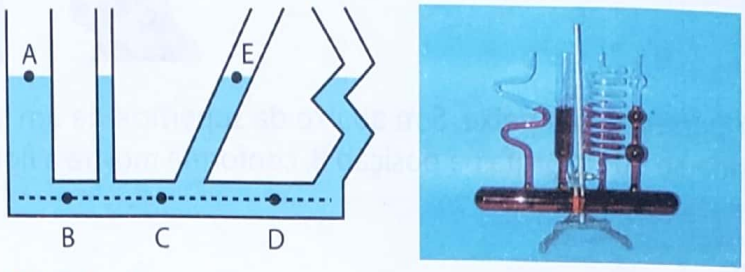


Fig. 3.21 O fluido fica ao mesmo nível num sistema de vasos comunicantes.

Esta propriedade dos vasos comunicantes tem inúmeras aplicações na vida prática. As figuras abaixo mostram algumas dessas aplicações.

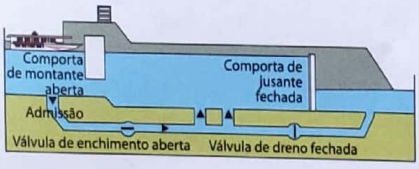
- Distribuição de água canalizada pelas casas de uma cidade.



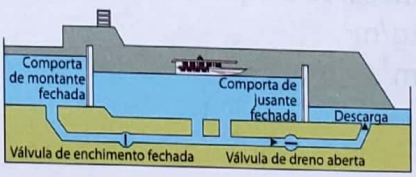
Os reservatórios de água da cidade e de uma residência funcionam como um sistema de vasos comunicantes devido à tendência de nivelarem as suas alturas. Os reservatórios de água da cidade devem estar numa altura superior aos das residências e estes numa altura superior às das torneiras, descargas, etc.

Fig. 3.22 Distribuição de água canalizada

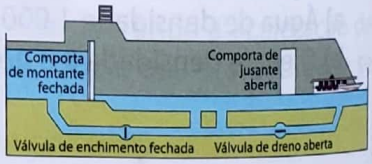
- As comportas dos navios – Canal do Panamá.



A comporta de jusante está fechada, as válvulas de enchimento ficam abertas até que o nível da *Eclusa* alcance o nível de montante. A comporta de montante abre para que a embarcação entre e depois é fechada novamente.



Com a embarcação dentro da *Eclusa*, a comporta de montante e as válvulas de enchimento são fechadas, enquanto que as válvulas de dreno são abertas até que o nível de água interno da *Eclusa* alcance o nível de jusante.



Quando o nível de água dentro da *Eclusa* está igual ao nível de jusante, a comporta de jusante é aberta para que a embarcação possa seguir viagem.

Fig. 3.23 As comportas dos navios

Digitalizado com CamScanner

Líquidos imiscíveis num sistema de vasos comunicantes

Os **líquidos imiscíveis** (ou não miscíveis) são líquidos que não se misturam. As suas densidades são diferentes.

Se num copo colocarmos dois ou mais líquidos imiscíveis, eles ordenam-se, a partir do fundo, por ordem decrescente das suas densidades, isto é, o líquido mais denso fica no fundo do copo, por ser o mais pesado, e o menos denso, fica na superfície.

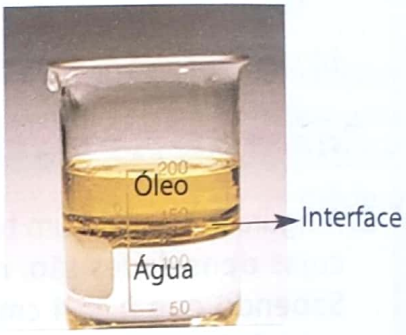


Fig. 3.24 Líquidos imiscíveis

Quando dois líquidos que não se misturam são colocados num sistema de vasos comunicantes, eles distribuem-se de forma a que as **alturas das colunas líquidas sejam inversamente proporcionais às respectivas densidades**. Partindo-se do princípio de que o sistema está em equilíbrio e por acção da gravidade, podemos igualar as pressões nos pontos (1) e (2), isto é:

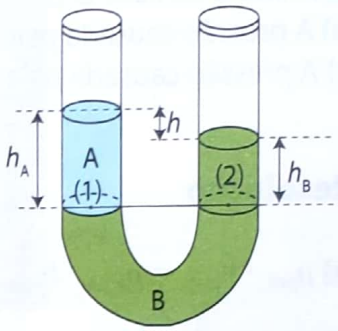


Fig. 3.25 Líquidos imiscíveis num sistema de vasos comunicantes

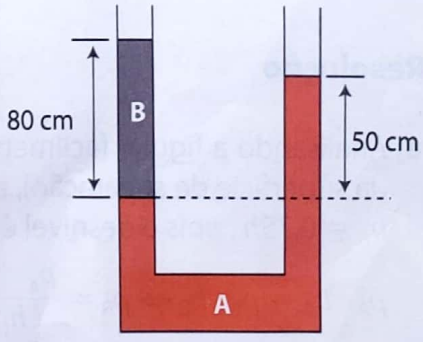
$$p_1 = p_2 \Leftrightarrow p_{atm} + \rho_A \cdot g \cdot h_A = p_{atm} + \rho_B \cdot g \cdot h_B$$

eliminando a p_{atm} nos dois membros, teremos: $\rho_A \cdot g \cdot h_A = \rho_B \cdot g \cdot h_B$ e, finalmente, simplificando a aceleração da gravidade, chegamos à condição de equilíbrio de dois líquidos imiscíveis num sistema de vasos comunicantes de secção uniforme:

$$\rho_A \cdot h_A = \rho_B \cdot h_B$$

Exercícios resolvidos

1. O tubo aberto em forma de U da figura contém dois líquidos não miscíveis, A e B, em equilíbrio.
As alturas das colunas de A e B, medidas em relação à linha de separação dos dois líquidos, valem 50 cm e 80 cm, respectivamente.



a) Qual dos líquidos, A ou B, é mais denso? Justifica a resposta.

b) Sabendo que a densidade do líquido A é igual a $2 \cdot 10^3$ kg/m^3, determina a densidade do líquido B.

c) Considerando $g = 10$ m/s^2 e a pressão atmosférica igual a $1 \cdot 10^5$ N/m^2, determina a pressão no interior do tubo junto da linha de separação dos dois líquidos.

Digitalizado com CamScanner

Resolução

a) O líquido A é o mais denso, porque se encontra no fundo do sistema de vasos comunicantes.

b) $\rho_A \cdot h_A = \rho_B \cdot h_B \Leftrightarrow \rho_B = \frac{\rho_A \cdot h_A}{h_B} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 50}{80} = 1{,}25 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

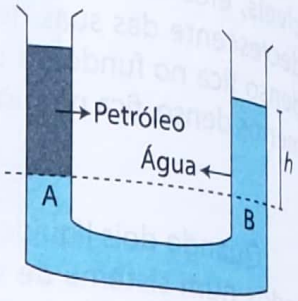
c) $p_A = p_B \Leftrightarrow p_A = p_{atm} + \rho_A \cdot g \cdot h_A \Leftrightarrow p_A = 1 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 0{,}5 = 1{,}1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

2. A figura representa um tubo em forma de U com água e petróleo, cujas densidades são, respectivamente, 1 g/cm³ e 0,8 g/cm³. Sabendo que $h = 4$ cm e que a aceleração da gravidade tem módulo 10 m/s², determina:

a) A altura da coluna de petróleo, acima da superfície de separação.

b) A pressão causada pelo petróleo, na interface A.

c) A pressão causada pela água, na interface B.



Resolução

a) $\rho_{pet.} \cdot h_{pet.} = \rho_{água} \cdot h_{água} \Leftrightarrow h_{pet.} = \frac{\rho_{água} \cdot h_{água}}{h_{pet.}} = \frac{1 \cdot 4}{0{,}8} = 5 \text{ cm}$

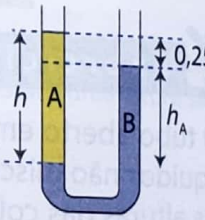
b) $p_{pet.} = \rho_{pet.} \cdot g \cdot h_{pet.} \Leftrightarrow p_{pet.} = 8 \cdot 10^2 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 4 \cdot 10^2 \text{ Pa}$

c) $p_{pet.} = p_{água} = 4 \cdot 10^2$ Pa, porque os dois líquidos estão em equilíbrio dentro do tubo.

3. Um fluido A, de massa específica $\rho_A = 1{,}8$ g/cm³, é colocado num tubo em U aberto, onde já existe um fluido B, de massa específica ρ_B. Os fluidos não se misturam e quando em equilíbrio, B preenche uma parte de altura h do tubo. Neste caso, o desnível entre as superfícies dos fluidos é de $0{,}25h$. A figura ilustra a situação descrita.

a) Determina a densidade do líquido B.

b) Sendo 2 025 Pa a pressão efectiva que o líquido B exerce junto da superfície de separação, determina a altura h.



Resolução

a) Analisando a figura, facilmente se percebe que sendo $h_B = h$ (altura do líquido B, acima da superfície de separação), a altura do líquido A, acima dessa mesma superfície é igual a $h_A = 0{,}75h$, pois o desnível é igual a $0{,}25h$, ou seja $h_A = h - 0{,}25h = 0{,}75h$.

$\rho_A \cdot h_A = \rho_B \cdot h_B \Leftrightarrow \rho_B = \frac{\rho_A \cdot h_A}{h_B} \Leftrightarrow \rho_B = \frac{\rho_A \cdot (0{,}75h)}{h} = 0{,}75 \cdot \rho_A = 1{,}35 \text{ g/cm}^3$

b) $p_B = \rho_B \cdot g \cdot h_B \Leftrightarrow h_B = \frac{p_B}{\rho_B \cdot g} \Leftrightarrow h_B = \frac{2\,025}{1350 \cdot 10} = 0{,}15 \text{ m}$

Digitalizado com CamScanner

Física no dia-a-dia

Medidores de pressão

Uma aplicação imediata da Lei Fundamental da Hidrostática é o manómetro de tubo aberto, que serve para medir diferenças de pressão (figura 3.26 **A**). O gás encerrado no balão está a uma pressão que excede a pressão atmosférica em ρgh, sendo ρ a densidade do mercúrio no tubo. A pressão assim medida chama-se pressão manométrica. É com manómetros que se mede a pressão dos pneus (figura 3.26 **B**).

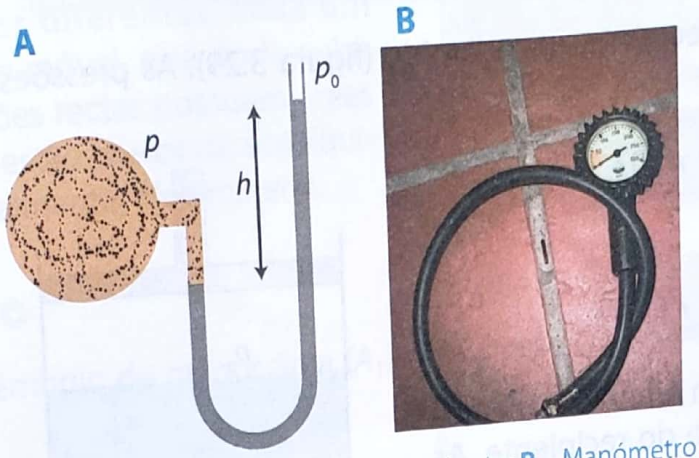


Fig. 3.26 **A** – Manómetro de tubo aberto; **B** – Manómetro usado nas oficinas de automóveis.

O barómetro, outro medidor de pressão (figura 3.27), serve para medir a pressão atmosférica. O primeiro barómetro foi o dispositivo utilizado na experiência de Torricelli.



Fig. 3.27 Barómetro de parede

Digitalizado com CamScanner

Princípio de Pascal

No século XVII, o matemático, físico e filósofo francês Blaise Pascal (figura 3.28), com base nas suas experiências e observações e antes de se conhecer a Lei Fundamental da Hidrostática, formulou o que se conhece hoje por Princípio de Pascal.



Fig. 3.28 Blaise Pascal

Princípio de Pascal: uma variação de pressão provocada num ponto de um fluido em equilíbrio transmite-se a todos os pontos do fluido e às paredes que o contém.

Consideremos um recipiente com líquido (figura 3.29). As pressões nos pontos A e B são, respectivamente:

$$p_A = p_{atm} + \rho g h_A$$

e

$$p_B = p_{atm} + \rho g h_B$$

Com o auxílio de um êmbolo, variemos a pressão de Δp no cimo do recipiente. As novas pressões A e B são:

$$p'_A = p_{atm} + \Delta p + \rho g h_A = p_A + \Delta p$$

e

$$p'_B = p_{atm} + \Delta p + \rho g h_B = p_B + \Delta p$$

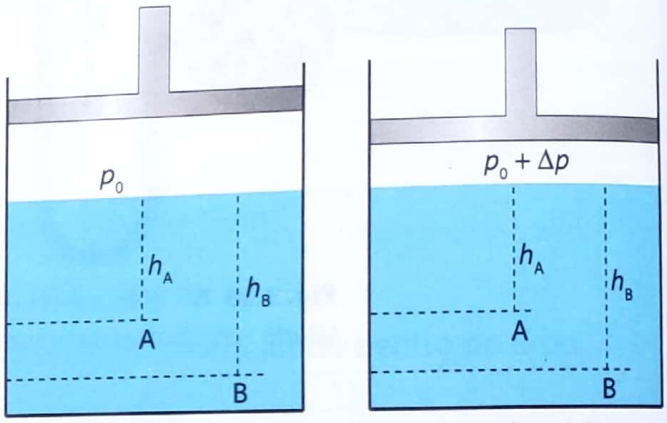


Fig. 3.29 A variação de pressão transmite-se a todos os pontos do fluido.

ou seja, ambas variaram de Δp, como afirma o Princípio de Pascal.

Experiência

Verificação do Princípio de Pascal

Material

- Um frasco com 2 bocas
- Duas rolhas de cortiça ou borracha
- Martelo
- Água

Procedimento

1. Encher completamente o frasco com água.
2. Usando rolhas de cortiça ou borracha, fechar as bocas do frasco.
3. Com um pequeno martelo, ou mesmo com o punho fechado, aplicar uma pancada forte na rolha A.

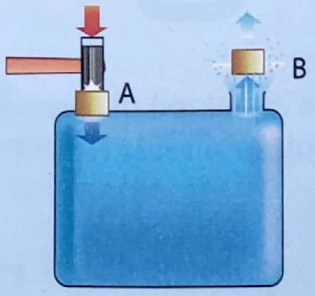


Fig. 3.30 Montagem experimental

O que observas?

Que, quase de imediato, a rolha B saltará, provando que o acréscimo de pressão exercido sobre o ponto A se transmitiu ao ponto B.

Digitalizado com CamScanner

Aparelhos hidráulicos

O **elevador hidráulico** é muito usado nas oficinas de mecânica para levantar carros. O elevador hidráulico e a prensa hidráulica e, não só, são exemplos de dispositivos que usam o Princípio de Pascal para multiplicar a força, permitindo ao Homem elevar grandes cargas, usando apenas pequenas forças.

Estes dispositivos são constituídos por dois cilindros de diâmetros diferentes, cada um munido de um êmbolo móvel, que pode subir ou descer e cujas secções rectas possuem áreas A_1 e A_2. Estes cilindros estão cheios de um líquido incompressível, geralmente, óleo mineral.

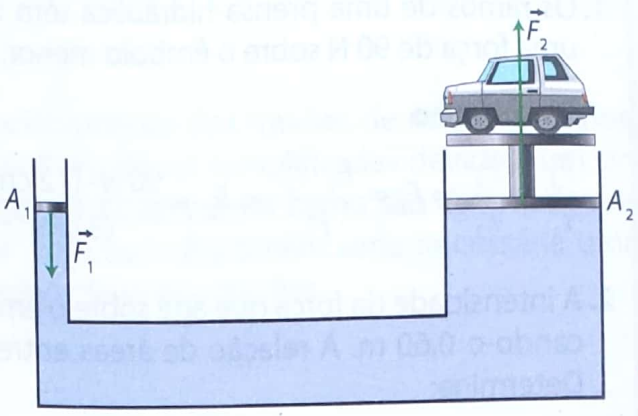


Fig. 3.31 Elevador hidráulico

Funcionamento

Aplicando-se no êmbolo de menor área (A_1) uma força F_1, este êmbolo fica sujeito a uma pressão:

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

Pelo Princípio de Pascal: «o acréscimo de pressão transmitido ao êmbolo de área A_1 deve ser integralmente transmitido ao êmbolo de área A_2». Assim sendo, o êmbolo de maior área, A_2, fica sujeito a uma pressão $p_2 = \frac{F_2}{A_2}$ que é igual à pressão $p_1 = \frac{F_1}{A_1}$, ou seja:

$$p_1 = p_2 \Leftrightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$ **Condição de Equilíbrio da Prensa Hidráulica**

Como os êmbolos são cilíndricos, as secções transversais dos êmbolos são círculos de raios r_1 e r_2 e de áreas $A_1 = \pi \cdot r_1^2$ e $A_2 = \pi \cdot r_2^2$, respectivamente. Pode-se então escrever que:

$$\frac{F_1}{r_1^2} = \frac{F_2}{r_2^2}$$

Repara que a força F_1 aplicada ao êmbolo menor faz este descer uma altura h_1. Analogamente, a força F_2 aplicada ao êmbolo maior faz este subir uma altura h_2. De acordo com a **Regra de Ouro da Mecânica**: «O trabalho realizado sobre o êmbolo menor deve ser igual ao trabalho realizado sobre o maior dos êmbolos».

$$W_1 = W_2 \Leftrightarrow F_1 \cdot h_1 = F_2 \cdot h_2$$

De forma semelhante, podemos afirmar que o volume de líquido deslocado pelo êmbolo menor deve ser igual ao volume de líquido deslocado pelo êmbolo maior. Como o volume de um cilindro é o produto da área da base (A) pela altura (h), pode-se escrever:

$$V_1 = V_2 \Leftrightarrow h_1 \cdot A_1 = h_2 \cdot A_2$$

Digitalizado com CamScanner

Exercícios resolvidos

1. Os ramos de uma prensa hidráulica têm raios de 3 cm e 12 cm, respectivamente. Aplicando uma força de 90 N sobre o êmbolo menor, que força o líquido exercerá sobre o êmbolo maior?

Resolução

$$\frac{F_1}{r_1^2} = \frac{F_2}{r_2^2} \Leftrightarrow F_2 = \frac{F_1 \cdot r_2^2}{r_1^2} \Leftrightarrow F_2 = \frac{90\ \text{N} \cdot (12\ \text{cm})^2}{(3\ \text{cm})^2} = \frac{90 \cdot 144}{9} = 1\,440\ \text{N}$$

2. A intensidade da força que age sobre o êmbolo menor de uma prensa hidráulica é 10 N, deslocando-o 0,60 m. A relação de áreas entre o êmbolo maior e o êmbolo menor é de 200:50. Determina:

a) A intensidade da força que vai agir no êmbolo maior.
b) O deslocamento sofrido pelo êmbolo maior, durante o processo.

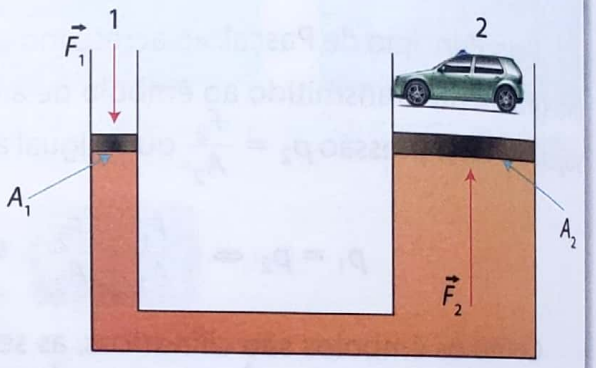
Resolução

a) $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Leftrightarrow \frac{10}{50} = \frac{F_2}{200} \Leftrightarrow \frac{10 \times 200}{50} = F_2 \Leftrightarrow F_2 = 40\ \text{N}$

b) $h_1 \cdot A_1 = h_2 \cdot A_2 \Leftrightarrow 0{,}60 \cdot 50 = h_2 \cdot 200 \Leftrightarrow 30 = h_2 \cdot 200 \Leftrightarrow h_2 = \frac{30}{200} \Leftrightarrow h_2 = 0{,}15\ \text{m}$

3. No elevador hidráulico esquematizado na figura, os diâmetros dos tubos são, respectivamente, 4 cm e 20 cm. Sendo o peso do carro igual a 10 kN, determina:

a) A força que deve ser aplicada no tubo 1 para equilibrar o carro.
b) O deslocamento do nível de óleo no tubo mais fino, quando o carro sobe 20 cm.
c) Que volume de líquido é deslocado quando o carro é elevado no êmbolo 2?



Resolução

a) As áreas dos tubos são dadas por πr^2. Como o raio é igual a metade do diâmetro, temos $r_1 = 2$ cm e $r_2 = 10$ cm.

Como $r_2 = 5r_1$, a área A_2 é 25 vezes a área A_1, pois a área é proporcional ao quadrado do raio. Portanto $A_2 = 25\,A_1$.

Aplicando a equação da prensa, obtemos:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Leftrightarrow F_1 = \frac{F_2 \cdot A_1}{A_2} = \frac{10\,000 \cdot A_1}{25\,A_1} = 400\ \text{N} \text{ ou}$$

$$\frac{F_1}{r_1^2} = \frac{F_2}{r_2^2} \Leftrightarrow F_1 = \frac{10^4 \cdot 2^2}{10^2} = 400\ \text{N}$$

b) $W_1 = W_2 \Leftrightarrow F_1 \cdot h_1 = F_2 \cdot h_2 \Leftrightarrow h_1 = \frac{F_2 \cdot h_2}{F_1} = \frac{10\,000 \cdot 20}{400} = 500\ \text{cm} = 5\ \text{m}$

c) $V_1 = V_2 = V \Leftrightarrow V = h_1 \cdot A_1 = h_1 \cdot \pi \cdot r_1^2 \Leftrightarrow V = 5 \cdot 3{,}14 \cdot (0{,}02)^2 \Leftrightarrow V = 6{,}28 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3$

Digitalizado com CamScanner

Física no dia-a-dia

Travão hidráulico

O Princípio de Pascal aplica-se também ao funcionamento dos travões de muitos veículos. A força que se exerce no pedal, no caso de um automóvel, vai ser «amplificada» devido a um circuito hidráulico num tubo de secção variável. A figura 3.32 apresenta como são accionados os travões de um automóvel quando se pisa o pedal. Sem este dispositivo seria necessária uma força muito maior sobre o pedal para se obter o mesmo efeito nos travões.

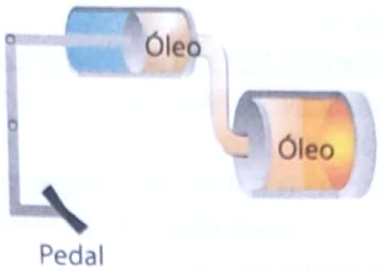
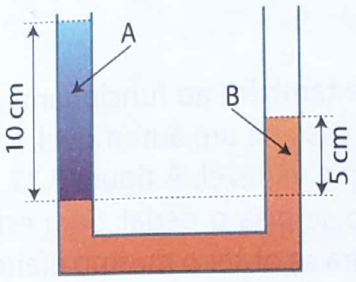


Fig. 3.32 Esquema de funcionamento dos travões

Digitalizado com CamScanner

25. A figura representa um tubo em forma de U aberto em ambos os extremos, contendo dois líquidos, A e B, que não se misturam.



Sendo $\rho_A = 0{,}75\ g/cm^3$ a densidade do líquido A, responde às questões:

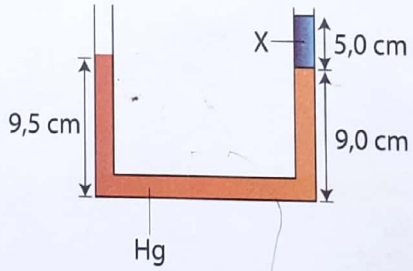
a) A densidade do líquido B é maior ou menor que $0{,}75\ g/cm^3$? Justifica a resposta.

b) Calcula a densidade do líquido B.

c) Determina a pressão absoluta que o líquido A exerce junto à superfície de separação, tendo em conta que a pressão atmosférica local é igual a $1{,}01 \cdot 10^5$ Pa.

26. Água e óleo de densidades $1\ g/cm^3$ e $0{,}8\ g/cm^3$, respectivamente, são colocados num tubo em U. Sendo 16 cm a altura da coluna de óleo, determina a altura da coluna de água medida acima do nível de separação entre os líquidos.

27. A figura mostra um tubo contendo mercúrio e um líquido X de massa específica desconhecida.

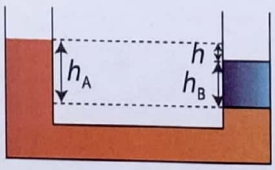


a) A densidade do líquido X é maior, menor ou igual à densidade do mercúrio? Justifica a resposta.

b) Calcula a densidade do líquido desconhecido.

c) Calcula a pressão que o líquido desconhecido exerce junto da superfície de separação.

28. Analisa com muita atenção a figura seguinte.



Determina o desnível h, sabendo que o líquido A tem densidade $0{,}6\ g/cm^3$, o líquido B tem densidade $1\ g/cm^3$ e que $h_A = 20$ cm.

Digitalizado com CamScanner

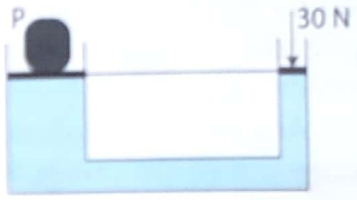
29. Pelo ramo esquerdo de um tubo em U deitou-se um líquido de densidade 1,8 g/cm^3 e pelo ramo direito deitou-se um líquido desconhecido X. Após alcançarem o equilíbrio, verificou-se que as alturas dos dois líquidos acima da superfície de separação estavam entre si como 5 está para 4.

a) Desenha o sistema de vasos comunicantes com os dois líquidos em equilíbrio.

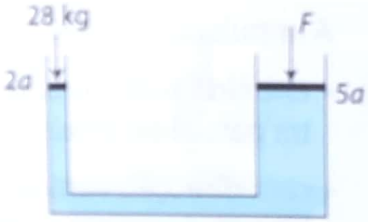
b) Qual é a densidade do líquido desconhecido?

30. Numa estação de serviço, para a lavagem de carros, um automóvel com a massa de 1 000 kg é erguido a uma certa altura por meio de um elevador hidráulico cujos êmbolos têm áreas de 10 cm^2 e 2 000 cm^2. Sendo a aceleração da gravidade local de 10 m/s^2, qual deve ser a força aplicada no êmbolo menor para equilibrar o automóvel?

31. Os êmbolos, menor e maior, de uma prensa hidráulica têm diâmetros de 5 cm e de 30 cm, respectivamente. Verifica-se que um peso P, colocado sobre o pistão maior, é equilibrado por uma força de 30 N aplicada no pistão menor, sem que o nível de fluido nas duas colunas se altere. De acordo com o Princípio de Pascal, quanto vale o peso P?



32. A prensa hidráulica representada na figura está em equilíbrio. Os êmbolos formam áreas iguais a $2a$ e $5a$. Qual a intensidade da força F?



33. Uma prensa tem pistões de áreas iguais a 4 cm^2 e 200 cm^2. Aplica-se ao êmbolo menor uma força de 20 N.

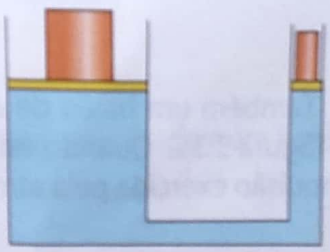
a) Qual é, em N/cm^2, a pressão no êmbolo menor?

b) Qual é a força que actua sobre o êmbolo de maior área?

34. Deseja-se construir uma prensa hidráulica que permita exercer no êmbolo maior uma força de $5 \cdot 10^3$ N, quando se aplica uma força de 50 N no êmbolo menor, cuja área é de 20 cm^2. Qual deve ser a área do êmbolo maior?

35. A razão entre as áreas dos êmbolos menor e maior de uma prensa hidráulica é de 2/5. Se no maior êmbolo desta prensa for mantido em equilíbrio um corpo de 90 kg, que força deverá ser empregue no menor êmbolo?

36. Numa prensa hidráulica, o raio do êmbolo maior é o quíntuplo do raio do êmbolo menor. Determina a massa que deve ser colocada no menor êmbolo quando se equilibra no maior êmbolo um corpo com o peso de 450 N.



Digitalizado com CamScanner

Força de impulsão e o Princípio de Arquimedes

Já todos verificámos que parecemos mais leves dentro de água e que é mais fácil flutuar no mar (na água salgada) do que no rio (na água doce). Porquê?

Conta a lenda que certo dia, por volta do século III a.C., o físico e matemático Arquimedes (figura 3.33), enquanto tomava banho, observou que o seu corpo, mergulhado na água, deslocava uma certa quantidade de água e que parecia não pesar tanto.

Ora Arquimedes, de quem se diz que era muito distraído, ficou tão entusiasmado com a descoberta que saltou da banheira e saiu para a rua, completamente nu, gritando: «*Eureka*! *Eureka*!», que significa «Descobri! Descobri!».

Arquimedes explicou esta observação dizendo que sobre um corpo mergulhado num fluido, para além do peso, actua uma outra força, chamada **impulsão** ($\vec{I}$)



Fig. 3.33 Arquimedes

A impulsão é uma força:

- exercida sobre o corpo pelo fluido onde se encontra parcial ou totalmente mergulhado;
- com direcção vertical e sentido de baixo para cima, ou seja, é sempre oposta ao peso.

Uma rolha flutua na água porque o seu peso é equilibrado pela impulsão, sendo nula a força resultante (figura 3.34).

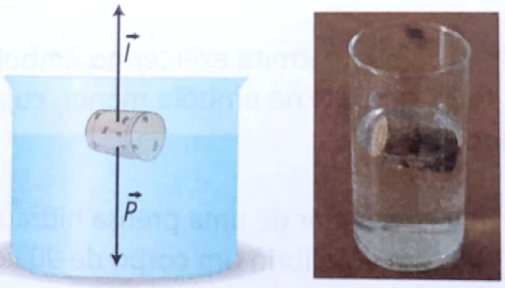


Fig. 3.34 Uma rolha flutua porque o seu peso é equilibrado pela impulsão exercida pela água.

Também um balão de ar quente flutua no ar devido à impulsão (figura 3.35). Quando está imóvel no ar, o peso do balão é igual à impulsão exercida pela atmosfera.



Fig. 3.35 Os balões de ar quente flutuam devido à impulsão exercida pelo ar.

Digitalizado com CamScanner

Experiência

A impulsão

Material

- Dinamómetro
- Fio com uma argola
- Pedaço de plasticina
- Copo de precipitação
- Água

Procedimento

1. Fazer uma bola com um pedaço de plasticina.
2. Suspender a bola de um dinamómetro através de um fio e registar o seu peso – peso real (figura 3.36 A).
3. Mergulhar a bola de plasticina, ainda suspensa do dinamómetro no copo com água e registar novamente o valor por este indicado (figura 3.36 B).
4. Retirar conclusões.

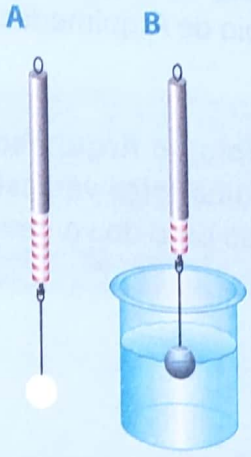


Fig. 3.36 Montagem experimental

Podes verificar que se mergulhares um corpo, suspenso de um dinamómetro na água de um copo de precipitação, o valor medido no dinamómetro é menor do que se o corpo estivesse no ar.

Podemos interpretar o fenómeno representando as forças que actuam no corpo suspenso quando mergulhado na água (figura 3.37).

Sobre o corpo actua permanentemente o peso do corpo, $\vec{P}$.

O líquido, por sua vez, exerce uma força vertical, dirigida de baixo para cima, que corresponde à impulsão do líquido, $\vec{I}$.

O corpo fica então sujeito simultaneamente às duas forças. Como estas forças têm sentidos opostos a **intensidade da força resultante** será:

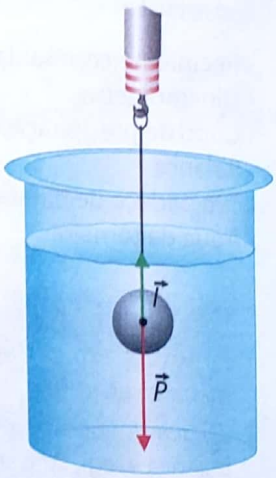


Fig. 3.37 A impulsão exerce-se no sentido contrário ao do peso de um corpo.

$$\text{Força resultante} = \text{Peso} - \text{Impulsão}$$

Como podes concluir pela figura 3.37, o valor da força resultante é inferior ao valor do peso. Por isso, quando o corpo está mergulhado num líquido, o dinamómetro mede um valor inferior ao peso, porque mede de facto a resultante das duas forças.

Chama-se a este valor, medido pelo dinamómetro, **peso aparente do corpo**, que é dado por:

$$\text{Peso aparente} = \text{Peso} - \text{Impulsão}$$

A **intensidade da impulsão** a que um corpo está sujeito, quando mergulhado num líquido, pode ser calculada a partir da seguinte expressão:

$$\text{Impulsão} = \text{Peso} - \text{Peso aparente}$$

sendo o peso (real) e o peso aparente medidos com o dinamómetro.

Digitalizado com CamScanner

Podemos também saber o valor da impulsão pesando a quantidade de água que o corpo deslocou quando foi introduzido no recipiente (figura 3.38).

Desta forma, a intensidade da impulsão é dada pelo chamado Princípio de Arquimedes.

Princípio de Arquimedes: um corpo mergulhado num fluido sofre uma força vertical, dirigida de baixo para cima, de valor igual ao peso do volume de fluido deslocado.

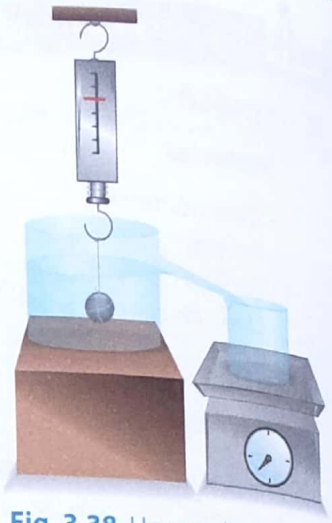


Fig. 3.38 Um modo de medir o valor da impulsão.

Experiência

A intensidade da impulsão dada pelo Princípio de Arquimedes

Material

- Recipiente com saída lateral (pode ser substituído por uma garrafa de plástico com furo lateral no cimo)
- Dinamómetro
- Copo de precipitação
- Balança
- Um pedaço de batata descascada
- Água da torneira

Procedimento

1. Pendurar um pedaço de batata no dinamómetro e medir o seu peso.
2. Colocar o copo de precipitação vazio no prato de uma balança e registar o seu peso ($P_{\text{copo vazio}}$).
3. Com o material indicado, fazer a montagem da figura 3.39 e colocar água no recipiente até ao nível da saída lateral.
4. Colocar o pedaço de batata, pendurado do dinamómetro, no recipiente com saída lateral contendo água.
5. Registar o valor lido no dinamómetro (peso aparente).
6. Recolher a água no copo de precipitação e medir o seu peso ($P_{\text{copo + água}}$).

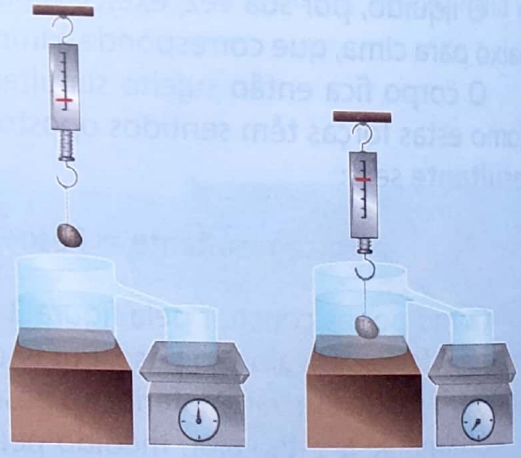


Fig. 3.39 Montagem experimental para calcular a impulsão.

Cálculos e conclusões

- A partir dos valores indicados no dinamómetro, calcula a intensidade da impulsão.
- Calcula o valor do peso da água deslocada.
- Compara os dois valores obtidos anteriormente.
- Tira conclusões.

Digitalizado com CamScanner

Com os dados recolhidos na experiência podemos saber o **peso da água deslocada** pelo corpo:

$$P_{\text{água deslocada}} = P_{\text{copo + água}} - P_{\text{copo vazio}}$$

Com os valores do peso e do peso aparente podemos calcular o **valor da força de impulsão**:

$$I = P - P_{\text{aparente}}$$

Se compararmos estes dois valores, verificamos que são iguais:

$$I = P_{\text{água deslocada}}$$

Esta conclusão constitui o Princípio de Arquimedes, enunciado anteriormente.

Factores de que depende a impulsão

Por que é que dentro de água um prego vai ao fundo e um navio não?

Um navio, apesar de feito de aço tal como o prego, não se afunda (figura 3.40 **B**) porque, devido à sua forma, o volume de água que desloca é muito grande e, como tal, a força de impulsão também é grande.

A força de impulsão compensa o peso e o navio flutua.

Quanto ao prego, como o volume de água que desloca é muito pequeno, quando está totalmente mergulhado, a força de impulsão é muito pequena.

O prego afunda-se (figura 3.40 **A**) porque o seu peso é maior do que a força de impulsão.

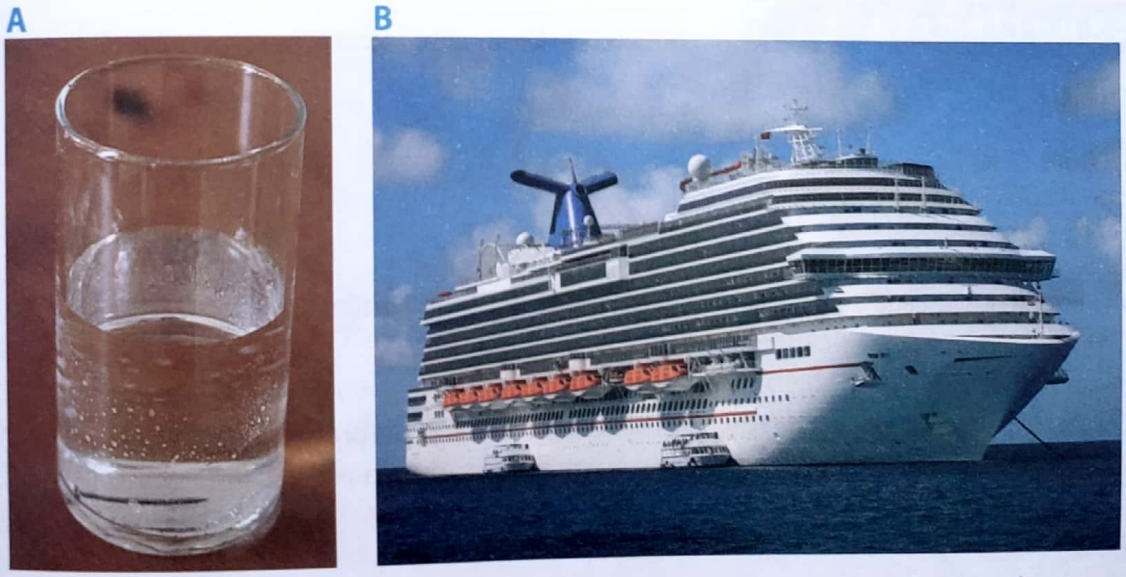


Fig. 3.40 **A** – Um pequeno prego afunda na água; **B** – Um grande navio flutua na água.

Mas se um objecto metálico tiver a forma de uma concha, podemos verificar que já flutua. Tal acontece porque o volume imerso é maior e, portanto, o volume de água deslocada também é maior. A impulsão aumenta com o volume imerso de acordo com o Princípio de Arquimedes.

A forma dos cascos dos navios destina-se a aumentar o volume imerso. Quanto mais carregado estiver, maior será o volume do casco dentro de água e maior será a impulsão.

Digitalizado com CamScanner

Em conclusão, **a impulsão depende do volume imerso do corpo**, sendo tanto maior quanto maior for esse volume imerso.

Por que é que um ovo (fresco) **afunda em água doce** e **flutua em água salgada?**

A impulsão também depende do fluido. Se mergulharmos um ovo (fresco) em água doce, verificamos que ele se afunda, mas se o mergulharmos em água muito salgada ele flutua (figura 3.41). É que a água salgada é mais densa do que a água doce, pelo que o peso do volume de líquido deslocado é maior.



Fig. 3.41 Na água doce, o ovo afunda, enquanto na água salgada, o ovo flutua.

Quanto maior for a densidade do fluido, maior será o valor da impulsão.

Pelo mesmo motivo um banhista no Mar Morto, um grande lago no Médio Oriente, que é extremamente salgado, consegue boiar facilmente, porque como a densidade da água é muito grande, a força de impulsão também é grande (figura 3.42).

Em conclusão, **a impulsão depende da densidade do fluido**, sendo tanto maior quanto mais denso ele for.



Fig. 3.42 A impulsão é enorme no Mar Morto!

Experiência

Factores de que depende a impulsão

Material

- Copo de precipitação
- Água da torneira
- Sal
- Uma batata descascada e cortada em pedaços de diferentes dimensões

Procedimento

1. Colocar os pedaços de batata de diferentes dimensões num copo de precipitação com água e observar.
2. Dissolver uma grande quantidade de sal no copo com a mistura água-pedaços de batata e observar.

Análise das observações

- Descreve e explica o que observaste.

Digitalizado com CamScanner

Exercícios resolvidos

1. Visando confirmar experimentalmente a densidade da prata e utilizando o Princípio de Arquimedes, no qual o volume de um sólido é igual ao volume de água deslocada por este, assim se procedeu em laboratório: um cordão de prata pura com o peso de 42 g foi introduzido numa proveta contendo 20,0 cm^3 de água, o que provocou o deslocamento do volume de água para 23,8 cm^3. Determina a densidade da prata.

Resolução

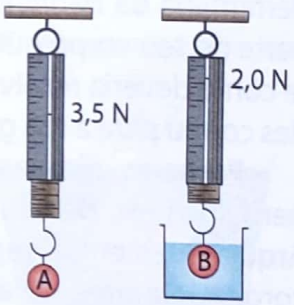
O volume do líquido deslocado é igual ao volume do corpo, uma vez que este foi totalmente mergulhado.

$V_{LD} = V_{corpo} = V - V_0 = 23{,}8 - 20{,}0 = 3{,}8\ cm^3$

Então, pela definição de densidade, podemos escrever:

$$\rho = \frac{m_{corpo}}{V_{corpo}} = \frac{42\ g}{3{,}8\ cm^3} = 11{,}05\ g/cm^3$$

2. Um corpo foi primeiramente pesado no ar e, em seguida, foi pesado dentro da água contida num recipiente, como mostram as figuras ao lado. Sendo 1 000 kg/m^3 a densidade da água:



a) Determina a força de impulsão que o líquido exerceu sobre o corpo.

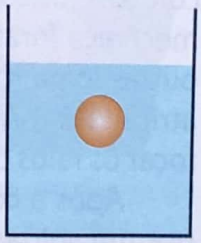
b) Calcula o volume do corpo.

Resolução

a) $I = P_{ar} - P_{líq.} = 3{,}5 - 2{,}0 = 1{,}5\ N$

b) $I = \rho_{líq.} \cdot V_{LD} \cdot g \Leftrightarrow V = \frac{I}{\rho_{líq.} \cdot g} = \frac{1{,}5}{1\,000 \cdot 10} = 1{,}5 \cdot 10^{-4}\ m^3$

3. Um corpo com a massa de 10 kg e o volume de $2 \cdot 10^{-3}\ m^3$ é mergulhado totalmente dentro de água de densidade 1 g/cm^3. Considerando a aceleração da gravidade do local igual a 10 m/s^2, responde às questões:



a) Qual é o valor do peso do objecto?

b) Qual é a intensidade da força de impulsão que a água exerce no objecto?

c) Qual é o valor do peso aparente do objecto?

Resolução

a) $P = mg \Leftrightarrow P = 10\ kg \cdot 10\ m/s^2 = 100\ N$

b) $I = \rho_{água} \cdot V_{LD} \cdot g \Leftrightarrow I = 1\,000 \cdot 0{,}002 \cdot 10 \Leftrightarrow I = 20\ N$

c) $P_{aparente} = P - I \Leftrightarrow P_{aparente} = 100 - 20 = 80\ N$ (peso do corpo mergulhado no líquido)

Digitalizado com CamScanner

Condições de flutuação dos corpos

Apesar da flutuação dos corpos ser um fenómeno simples, muitas vezes é pouco compreendida. Muitas pessoas afirmam que um navio flutua porque a força de impulsão ($\vec{I}$) da água do mar é maior que o peso ($\vec{P}$) do navio. Se essa explicação fosse correcta, o navio não estaria em equilíbrio, mas a voar como um balão.

O facto de um corpo flutuar ou não vai depender da resultante das forças que actuam no corpo, que é dada por:

$$\vec{F}_r = \vec{P}_{corpo} + \vec{I}$$

Sobre um corpo totalmente mergulhado num líquido actuam somente duas forças: o seu peso, P, vertical para baixo, e a força de impulsão de Arquimedes, vertical para cima. Dependendo das dimensões destas duas forças, podemos ter as seguintes situações:

1. **O corpo afunda no líquido:** neste caso, o módulo da força de impulsão é menor que o peso do corpo, ou seja, a **densidade do líquido é menor que a densidade do corpo**.

   $P_{corpo} > I$ ou $\rho_{corpo} > \rho_{líquido} \Leftrightarrow$ O corpo afunda.

2. **O corpo sobe até à superfície do líquido:** neste caso, o módulo da força de impulsão é maior que o peso do corpo, ou seja, a **densidade do líquido é maior que a densidade do corpo**.

   $P_{corpo} < I$ ou $\rho_{corpo} < \rho_{líquido} \Leftrightarrow$ O corpo sobe até à superfície do líquido.

3. **O corpo mantém-se em equilíbrio no seio do líquido:** neste caso, o módulo da força de impulsão é igual ao peso do corpo, ou seja, a **densidade do líquido é igual à densidade do corpo**.

   $P_{corpo} = I$ ou $\rho_{corpo} = \rho_{líquido} \Leftrightarrow$ O corpo mantém-se em equilíbrio no seio do líquido.

4. **Corpo parcialmente imerso:** neste caso, o corpo flutua na superfície livre do líquido com uma parte imersa e outra emersa, ou seja, o **peso do corpo é equilibrado pela força de impulsão, mas as densidades do corpo e do líquido não são iguais**.

$$P = I \Leftrightarrow m_{corpo} \cdot g = m_{líquido} \cdot g$$

$$\rho_{corpo} \cdot V_{corpo} = \rho_{líquido} \cdot V_{deslocado}$$

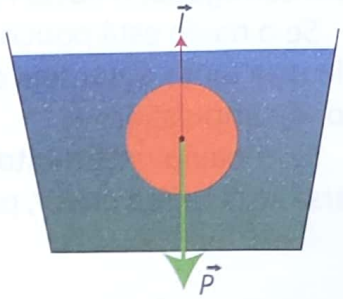


Fig. 3.45 O corpo afunda no líquido.

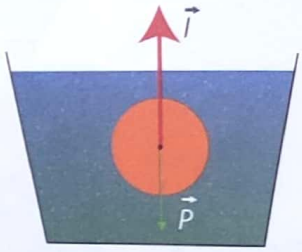


Fig. 3.46 O corpo sobe até à superfície do líquido.

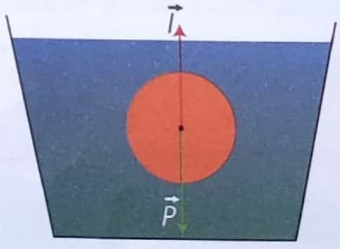


Fig. 3.47 O corpo mantém-se em equilíbrio no seio do líquido.

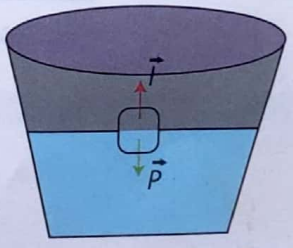


Fig. 3.48 Corpo parcialmente imerso.

Digitalizado com CamScanner

Física no dia-a-dia

Flutuação de navios

Os navios e cargueiros são feitos de materiais diversos, nos quais entra o aço em grandes proporções. O aço é mais denso do que a água (mesmo salgada), mas um navio não corresponde a um bloco maciço.

Por outro lado, os navios são construídos de forma a poderem deslocar um grande volume de água. Para isso, o volume total da parte imersa do navio é muito grande.

Se o peso do volume de água deslocada, pela parte imersa do navio, compensar o peso do navio carregado, o navio flutua. É este tipo de cálculo que se faz ao projectar um navio.

Se o navio está pouco carregado (sem carga) a parte imersa será menor porque não é necessário que tanta água seja deslocada. O peso é menor e, portanto, é compensado por um menor valor de impulsão.

Se o navio está muito carregado (com a carga máxima para o qual foi projectado), a parte imersa será muito maior, pois mais água é deslocada para compensar um maior peso.

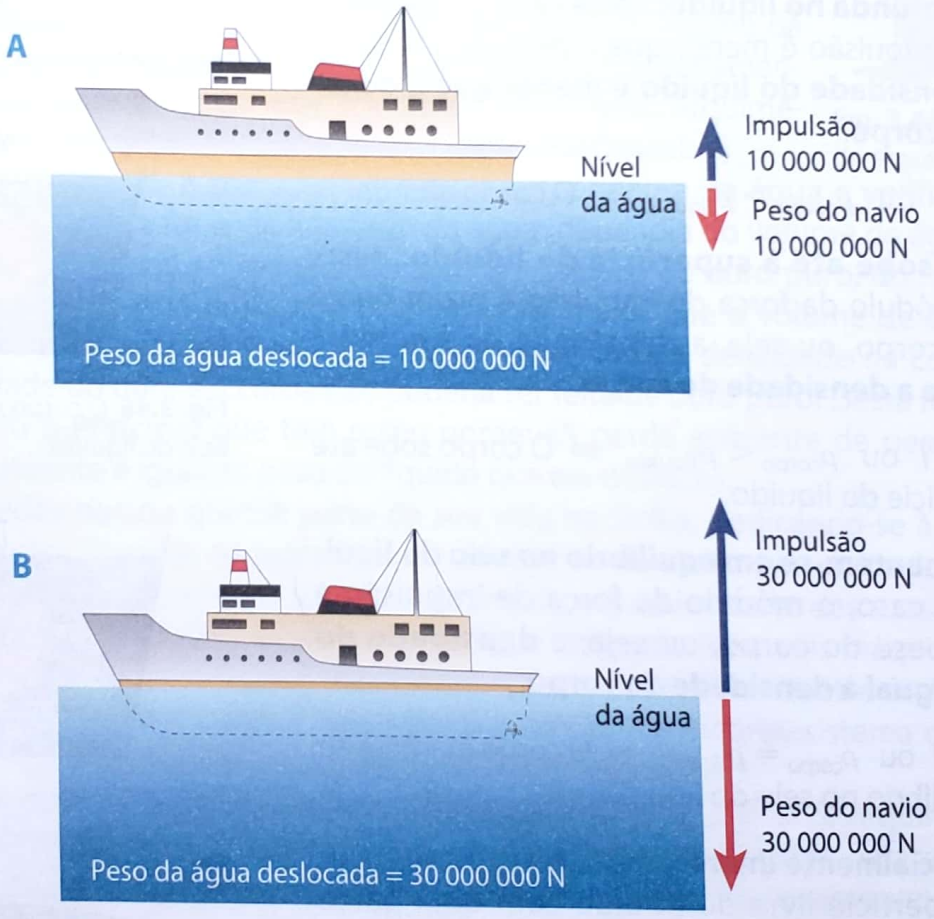


Fig. 3.49 Esquemas relativos a um navio sem carga (**A**) e com carga (**B**)

Digitalizado com CamScanner

Actividade

Funcionamento de um submarino

A figura 3.50 refere-se ao funcionamento de um submarino.

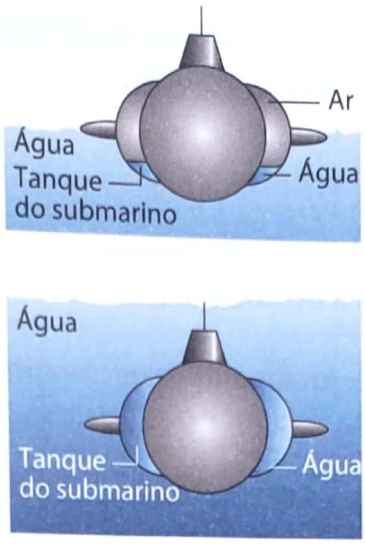


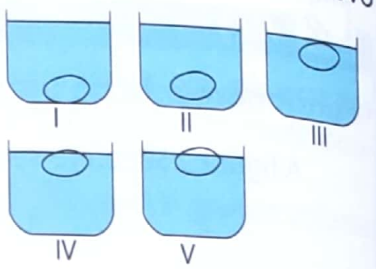
Fig. 3.50 Funcionamento de um submarino

- Procura explicar, tendo por base o Princípio de Arquimedes:
  – Por que razão é necessário encher os tanques para o submarino poder mergulhar?
  – Por que razão é necessário bombear a água dos tanques para o submarino vir à superfície?
- Planeia e constrói um objecto cujo funcionamento se assemelhe a um submarino. Apresenta o objecto aos teus colegas e explica como funciona.

Digitalizado com CamScanner

37. Um ovo colocado num recipiente com água vai até ao fundo, onde fica apoiado, conforme a figura I. Adicionando-se sal, em várias concentrações, ele assume as posições indicadas nas outras figuras II, III, IV e V. A situação que indica uma impulsão menor do que o peso do ovo é a da figura:

A. I
B. II
C. III
D. IV
E. V



38. Um corpo está a flutuar num líquido. Nesse caso:

A. A impulsão é menor que o peso.
B. A impulsão é maior que o peso.
C. A impulsão é igual ao peso.
D. A densidade do corpo é maior que a do líquido.
E. A densidade do corpo é igual à do líquido.

39. Um corpo de massa 30 kg está totalmente imerso num líquido de densidade 31,02 kg/m^3. Sendo o volume do corpo igual a 0,29 m^3 e $g = 10\ m/s^2$, determina:

a) A densidade do corpo.
b) O peso aparente do corpo mergulhado.

40. Um corpo de volume 0,5 m^3 e densidade $5 \cdot 10^2\ kg/m^3$ está totalmente imerso num líquido de densidade $2 \cdot 10^3\ kg/m^3$. Sendo a aceleração da gravidade $g = 10\ m/s^2$, determina a intensidade da força de impulsão com que o líquido age sobre o corpo.

41. Um corpo de volume 30 cm^3 e densidade 0,9 g/cm^3 flutua em água de densidade 1,0 g/cm^3. Determina a massa do corpo e o volume de líquido que esse corpo desloca.

42. Um pequeno barco cujo peso total é de 1 000 N flutua na água.

a) Qual é a intensidade da impulsão exercida no barco?
b) Determina o peso da água deslocada pelo barco.
c) Se nesse barco for colocada carga que exceda o seu peso, o que poderá suceder?

43. Um corpo sólido, mergulhado num líquido, está suspenso por um dinamómetro. O valor lido na escala do dinamómetro é de 3 N. O peso do líquido deslocado pelo corpo é de 2 N.

a) Determina o valor da impulsão exercida no corpo.
b) Indica quais são os valores do peso real e do peso aparente do corpo.

44. A partir dos dados da tabela abaixo, indica com V as afirmações verdadeiras e com F as afirmações falsas.

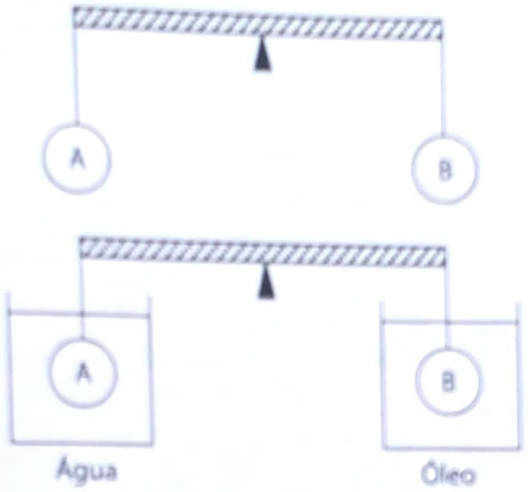
A. Um pedaço de madeira afunda na água.
B. Um pedaço de cobre afunda na água, mas flutua no mercúrio.
C. Justifica as respostas.

Nome do material	Madeira	Água	Cobre	Mercúrio
Densidade (g/cm^3)	0,85	1,00	8,90	13,60

Digitalizado com CamScanner

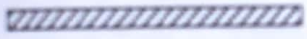
45. Dois objectos maciços com a mesma densidade e volume estão submersos em água, um na horizontal e outro na vertical. Em qual deles a impulsão é maior? Qual a razão?

46. Duas esferas maciças de alumínio, A e B, de igual massa e volume, estão em equilíbrio, suspensas numa balança como mostra a figura. Em seguida, mergulha-se a esfera A, ainda suspensa, num recipiente contendo água ($\rho = 1\ g/cm^3$) e a esfera B num recipiente contendo a mesma quantidade de óleo ($\rho = 0{,}8\ g/cm^3$).



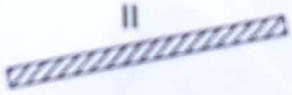
Qual das figuras abaixo melhor representa a configuração do travessão da balança após as esferas serem mergulhadas? Justifica a resposta.

I



Mantém-se em equilíbrio horizontal.

II



Inclina-se para a esquerda.

III



Inclina-se para a direita.

Digitalizado com CamScanner



OBJECTIVOS

O aluno deve ser capaz de:

- Identificar fontes de luz.
- Distinguir um raio de um feixe luminoso.
- Explicar as consequências da propagação rectilínea da luz.
- Aplicar as leis da reflexão da luz.
- Construir, geometricamente, as imagens dadas por espelhos planos e côncavos.
- Descrever as características das imagens produzidas pelos espelhos planos e côncavos.
- Aplicar as leis da refracção da luz na explicação de fenómenos concretos do dia-a-dia e na construção geométrica das imagens dadas por lentes biconvexas.
- Mencionar as características das imagens produzidas pelas lentes biconvexas.
- Explicar a constituição e o funcionamento dos instrumentos ópticos.

Digitalizado com CamScanner

- Fontes de luz
- Corpos luminosos e iluminados
- A propagação rectilínea da luz
- Raio e feixe luminoso
- Sombra, penumbra e eclipses
- Reflexão da luz
- Leis da reflexão
- Imagens produzidas por espelhos planos e suas características
- Reflexão de raios paralelos, focais e centrais num espelho côncavo
- Construção geométrica de imagens em espelhos côncavos
- Fenómeno da refracção da luz
- Leis da refracção
- Índice de refracção
- Refracção numa lente biconvexa (raio focal, paralelo e central)
- Construção geométrica da imagem dada por uma lente biconvexa e suas características
- Instrumentos ópticos
- O olho humano e suas deficiências (miopia e hipermetropia)

Digitalizado com CamScanner

Introdução

A maior parte das informações que recebemos do mundo que nos rodeia é recebida pela nossa vista. A visão é caracterizada pela interacção da luz com os nossos olhos. Vemos graças à sensibilidade que os nossos olhos apresentam em relação à luz que provém dos objectos.

A **Óptica** é o ramo da Física que estuda os fenómenos relacionados com a luz, que é uma das formas pelas quais a energia se manifesta.

Fontes de luz. Corpos luminosos e iluminados

Para que possamos visualizar os objectos ou os sinais luminosos, é necessário que os nossos olhos recebam a luz que deles emana, quer directa quer indirectamente.

Todos os corpos que podemos ver enviam luz para os nossos olhos, contudo, não todos da mesma forma.

Os corpos que emitem luz são **fontes de luz** ou **emissores de luz**.

Os **corpos luminosos** ou **fontes naturais de luz** enviam luz própria para o espaço à sua volta e esta pode ser vista, independentemente da presença de outros corpos. São exemplos de corpos luminosos, o Sol, as estrelas, uma vela e uma lâmpada acesas.

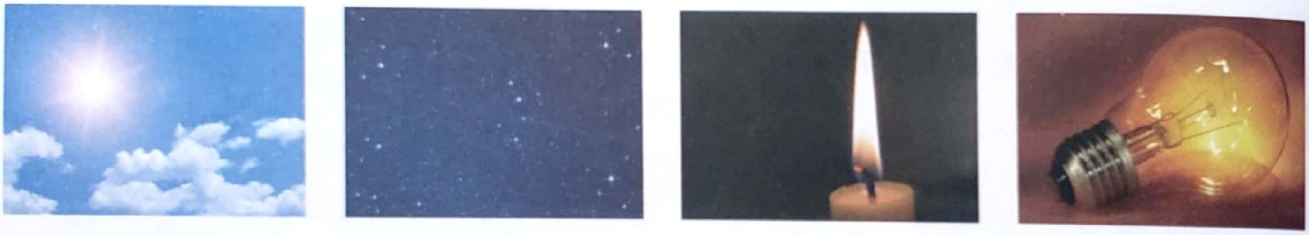


Fig. 4.1 Corpos luminosos

Todas estas fontes de luz são **primárias** pois emitem luz por si próprias.

Os corpos iluminados enviam para o espaço envolvente a luz que recebem dos corpos luminosos. São exemplos de corpos iluminados, a Lua, os planetas, uma mesa, a roupa, um livro ou mesmo as pessoas.



Fig. 4.2 Corpos iluminados

Todos estes corpos são fontes de luz **secundárias** pois não a produzem, apenas a reflectem ou difundem.

Digitalizado com CamScanner

Há diferentes tipos de fontes de luz:

- as **fontes incandescentes**, constituídas por corpos a temperaturas elevadas (600 °C ou mais), como a chama de uma vela ou de um objecto a arder, o filamento de uma lâmpada, a lava de um vulcão, etc.
- as **fontes luminescentes**, que produzem luz sem uma significativa elevação de temperatura, como no caso das lâmpadas fluorescentes, ecrãs de TV, raios *laser*, etc.

Propagação rectilínea da luz. Raio e feixe luminoso

A luz provém de fontes de luz e **propaga-se em todas as direcções, em qualquer meio transparente**.

Qualquer meio em que a luz se propague é um **meio óptico**. O ar, a água e o vidro são exemplos de meios ópticos.

Mas como é que a luz atravessa os meios ópticos?

A observação corrente diz-nos que a **luz se propaga em linha recta**.

Quando estamos numa sala mal iluminada, se as persianas da janela estiverem parcialmente fechadas, podemos ver a luz entrar pelas pequenas frestas e observar o seu trajecto, que é rectilíneo, através da iluminação das poeiras existentes no ar.

Os feixes de luz que rompem por entre as folhas das árvores mostram que a luz se propaga em linha recta.

Também em noites de nevoeiro, as gotículas de água em suspensão no ar mostram-nos o trajecto rectilíneo da luz emitida pelos faróis dos automóveis.

Nos concertos existem feixes laser, rectilíneos, que ajudam a abrilhantar os espectáculos, dando-lhes animação e cor.

Mas, a **luz também se propaga no vazio**.



Fig. 4.3 Propagação rectilínea da luz

Se a luz não se propagasse no vazio, a luz do Sol e das estrelas não chegaria até nós.

Essa luz atravessa o espaço interestelar onde, em determinadas zonas, não existe matéria: atravessa, portanto, o vazio.

Quando nos referimos à luz, falamos frequentemente em raios luminosos. Um **raio luminoso** corresponde à direcção segundo a qual a luz se propaga e representa-se por uma linha recta com uma seta que indica o sentido da propagação. Embora se fale com frequência em raio luminoso, é importante que tenhas a noção de que tal não existe. O que tem existência real é um **feixe luminoso**, ou seja, um conjunto de raios luminosos, cuja direcção de propagação é simbolicamente representada por um raio luminoso.

Digitalizado com CamScanner

Os feixes luminosos podem classificar-se em três tipos:

- paralelos;



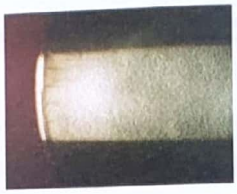


Fig. 4.4 Representação esquemática e um feixe de luz paralelo

- divergentes;

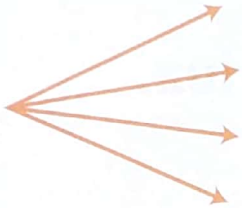




Fig. 4.5 Representação esquemática e um feixe de largente

- convergentes;

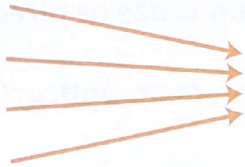




Fig. 4.6 Representação esquemática e um feixe de luz convergente

Os corpos não se comportam todos da mesma maneira quando são atingidos pela luz.

Uns são **transparentes**, ou seja, deixam-se atravessar facilmente pela luz, permitindo que através deles se vejam nitidamente os objectos. É o meio que permite a propagação regular da luz possibilitando a formação de uma imagem nítida dos objectos. São exemplos de corpos transparentes, o ar, a água e o vidro polido.

A luz provém de fontes luminosas e propaga-se em todas as direcções, em qualquer meio transparente.

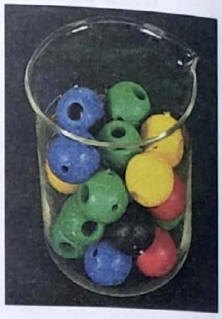


Fig. 4.7 Corpo transparente

Outros são **translúcidos**, ou seja, dificilmente deixam passar a luz, permitindo que através deles apenas se veja os contornos dos objectos. É o meio onde a luz se propaga com dificuldade, de forma irregular. São exemplos de corpos translúcidos, o papel vegetal, o vidro fosco, etc.



Fig. 4.8 Corpo translúcido

Outros ainda são **opacos**, ou seja, não se deixam atravessar pela luz, não permitindo que se veja através deles. É o meio que não permite a propagação da luz. São exemplos destes corpos, o cimento, o ferro, a madeira, etc.

Embora nos pareça que a luz se propaga instantaneamente, tal facto não é verdade. A luz tem velocidade finita.

Na realidade, o tempo que a luz demora a percorrer pequenas distâncias é tão curto que podemos considerar a sua propagação como instantânea.

Para distâncias muito grandes, como, por exemplo, a distância de uma estrela à Terra, a luz pode demorar vários anos no percurso.

Actualmente, sabe-se que a velocidade da luz no vazio é cerca de 300 000 km/s ou 3×10^8 m/s. No ar, a velocidade da luz é também cerca de 300 000 km/s.

Nos meios ópticos, tais como o vidro e a água, a velocidade de propagação da luz é menor.



Fig. 4.9 Corpo opaco

Digitalizado com CamScanner

Experiência

Como se propaga a luz

Material

- Três cartões com um orifício no centro
- Suportes iguais para os três cartões
- Fonte de luz: uma vela ou uma lâmpada
- Mangueira opaca

Procedimento

Estas experiências devem ser realizadas numa sala escurecida.

Parte A

1. Colocar os três cartões nos suportes de modo a ficarem alinhados.
2. Colocar a fonte de luz em frente ao orifício do primeiro cartão.
3. Espreitar pelo orifício do último cartão.
4. Registar as observações.
5. Deslocar um dos cartões de modo a que os orifícios fiquem desalinhados.
6. Espreitar pelo orifício do último cartão.
7. Registar as observações e retirar conclusões.

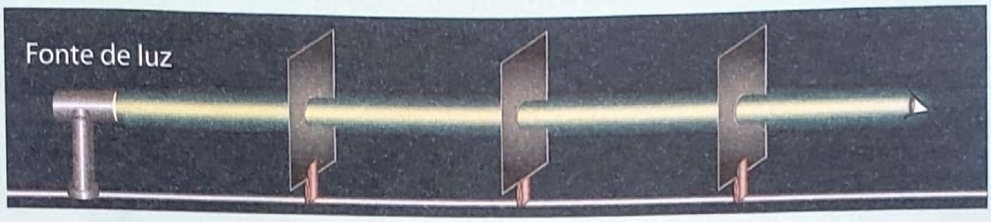


Fig. 4.10 Montagem experimental

Parte B

1. Esticar a mangueira e colocar a fonte de luz em frente a uma das extremidades.
2. Espreitar pela outra.
3. Registar as observações.
4. Encurvar a mangueira e espreitar de novo.
5. Registar as observações e retirar conclusões.

Física no dia-a-dia

Laser

Aprendeste que a luz propaga-se em todas as direcções e em linha recta.

Em certos espectáculos, os raios *laser* testemunham bem a propagação rectilínea da luz. Portanto, os espectáculos *laser* constituem algumas das poucas ocasiões em que vemos feixes de *laser*.

Estes feixes nunca devem incidir sobre o público ou plateia, pois podem dar origem a lesões oculares graves.

Nos dias de hoje os *lasers* têm diversas aplicações. Por exemplo, na medicina são utilizados nas cirurgias para a eliminação de tumores, e ainda para bronzeamento artificial.

Digitalizado com CamScanner

Princípios da óptica geométrica

O estudo da **óptica geométrica** permitiu ao Homem a invenção de uma infinidade de instrumentos ópticos tais como espelhos, lentes, microscópios, lunetas, telescópios, projectores, entre outros. Além disso permitiu que problemas de visão fossem corrigidos com o auxílio de lentes cada vez mais eficientes e através de cirurgias de alta precisão.

O seu estudo baseia-se em três princípios fundamentais, nomeadamente:

Princípio da independência dos raios luminosos

Cada **raio de luz propaga-se como se fosse o único**, não sendo bloqueado nem desviado pela existência de outros raios (figura 4.11). Isso permite que fibras ópticas possam transportar muitos dados ao mesmo tempo sem que se «misturem».



Fig. 4.11 Independência dos raios luminosos

Princípio da reversibilidade dos raios luminosos

O **trajecto** da luz entre dois pontos **é sempre o mesmo** independentemente do sentido de propagação da luz (figura 4.12). Por outras palavras, «o caminho da ida é igual ao da volta».

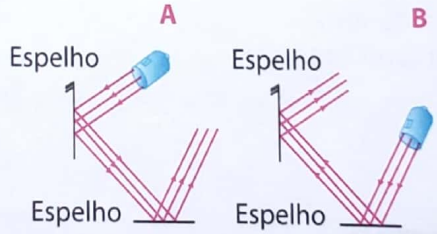


Fig. 4.12 Reversibilidade dos raios luminosos

Princípio da propagação rectilínea da luz

Nos meios ordinários – transparentes, homogéneos e isotrópicos – a **luz propaga-se sempre em linha recta** (figura 4.13). Quando um feixe de luz encontra no seu caminho um objecto opaco, a luz não o contorna, permitindo a formação das sombras, uma vez que a luz não se propaga nos meios opacos.

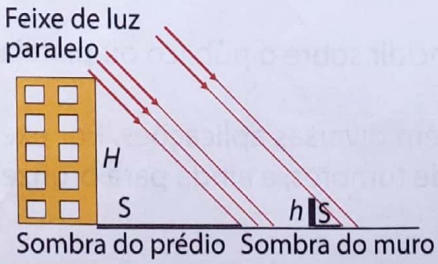


Fig. 4.13 Propagação rectilínea da luz

Digitalizado com CamScanner

Sombra, penumbra e eclipses

As consequências da propagação rectilínea da luz são:

- **Formação da sombra e da penumbra** quando um objecto opaco se interpõe no caminho de uma fonte luminosa pontual (figura 4.14), produz-se uma **sombra (B)** do corpo opaco. Isso ocorre porque a luz, ao encontrar o corpo opaco, será impedida de continuar o seu caminho, produzindo uma região que não recebe luz – a **sombra (B)**. Os outros raios ao propagarem-se no espaço, em linha recta, atingirão o chão ou outro objecto criando regiões iluminadas e regiões destituídas de luz – onde existe sombra. A zona do corpo que não recebe luz define a sua **sombra própria (A)**. No espaço entre o corpo e o alvo, a zona que fica mais escura designa-se por **cone de sombra (C)**. Se a fonte luminosa não for pontual (figura 4.15), o caso mais comum, então teremos regiões não atingidas pelos raios luminosos – regiões de sombra – e regiões atingidas por alguns raios luminosos – mas **não todos**. Essas regiões, de diferentes graduações em função da quantidade de luz, são as **regiões de penumbra**. Observarás, em torno da sombra, uma zona menos escura sobre o alvo a que se chama **penumbra (D)**. Igualmente, poderás identificar um **cone de penumbra (E)** e uma zona de **penumbra própria (F)**.

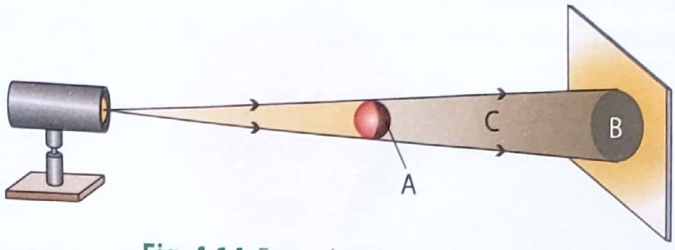


Fig. 4.14 Fonte luminosa pontual

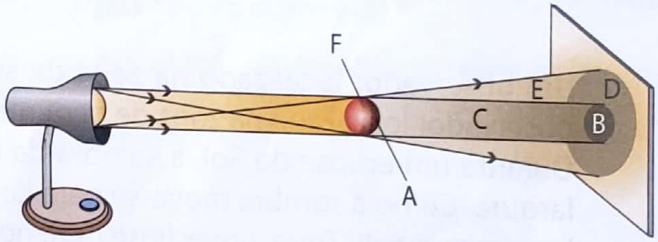


Fig. 4.15 Fonte luminosa não pontual

O facto de a sombra projectada apresentar semelhança geométrica com o corpo comprova que a propagação da luz é rectilínea.

- **Imagem invertida numa câmara escura** uma caixa fechada, de paredes escuras, com um pequeno orifício numa das faces, através do qual penetram e se cruzam os raios luminosos vindos de um objecto colocado em frente do orifício, constitui uma câmara escura (figura 4.16). A imagem invertida do objecto projecta-se na face do fundo, no interior da caixa, como uma consequência da propagação rectilínea da luz.

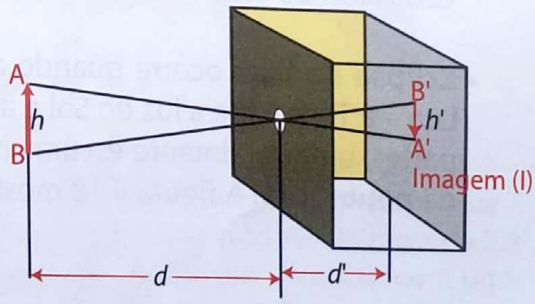


Fig. 4.16 Câmara escura

Analisando a figura, conclui-se que os triângulos [ABO] e [A'B'O] são semelhantes. Então:

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{d}{d'} \Leftrightarrow \frac{h}{h'} = \frac{d}{d'}$$

onde: h e h' são as alturas do objecto e da imagem, respectivamente; d e d' são as distâncias do objecto e da imagem ao orifício, respectivamente.

Digitalizado com CamScanner

Formação dos eclipses do Sol e da Lua: um eclipse é a ocultação total ou parcial de um astro pela interposição de outro no caminho da luz proveniente do Sol.

- **Eclipse do Sol**: ocorre quando a Lua (corpo opaco) está entre o Sol e a Terra e a sua sombra ou a sua penumbra atingem uma zona da Terra. Os eclipses solares só ocorrem em fase de Lua nova, quando a Lua cobre totalmente ou parcialmente o Sol (figura 4.17). Pode ocorrer:
  - Um **eclipse solar total** para uma região da Terra que esteja no cone de sombra da Lua (figura 4.17 **A**). Esta região é muito pequena.
  - Um **eclipse solar parcial** para uma região da Terra que esteja na zona de penumbra (figura 4.17 **B**). Esta região é maior do que a região de eclipse total. Neste caso, a Lua cobre apenas uma parte do Sol.



Fig. 4.17 Há eclipse total do Sol na região da Terra onde há sombra (**A**) e eclipse parcial na zona de penumbra (**B**).

Um observador localizado na zona de sombra vê um **eclipse total**, enquanto que um observador localizado na zona de penumbra vê um **eclipse parcial**.
Durante um eclipse do Sol, a sombra da Lua na Terra tem sempre menos de 270 km de largura. Como a sombra move-se para Leste, a pelo menos 34 km/min, devido à órbita da Lua em torno da Terra, um eclipse dura no máximo 72 minutos.
Portanto, um eclipse do Sol total só é visível, se o clima permitir, numa estreita faixa sobre a Terra, chamada de **caminho do eclipse**. Numa região de aproximadamente 3 000 km de cada lado do **caminho do eclipse** ocorre um **eclipse parcial**.

- **Eclipse da Lua**: ocorre quando a Terra (corpo opaco) está exactamente entre o Sol e a Lua – a Terra tapa a luz do Sol e a Lua fica às escuras. A zona escurecida divide-se em duas partes, uma totalmente escura chamada **sombra** e outra parcialmente iluminada chamada **penumbra**. A figura 4.18 mostra três posições da Lua em que podem ocorrer eclipses.

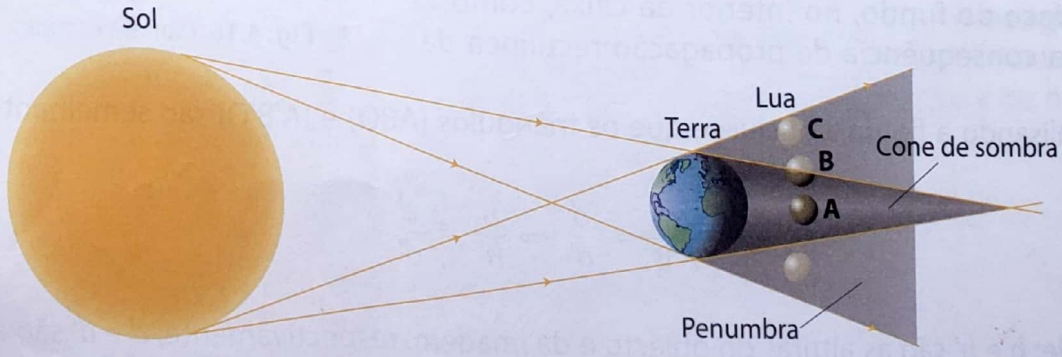


Fig. 4.18 Eclipse total (**A**), eclipse parcial (**B**) e eclipse penumbral da Lua (**C**)

Digitalizado com CamScanner

- Se a Lua estiver no cone de sombra, deixa totalmente de ser vista: é um **eclipse total da Lua** (figura 4.18 **A**).
- Se parte da Lua estiver no cone de sombra e outra parte na penumbra, ocorre um **eclipse parcial da Lua** (figura 4.18 **B**).
- Se toda a Lua estiver na penumbra, ocorre um **eclipse penumbral** (figura 4.18 **C**).

Em qualquer dos casos, a Lua está sempre em fase de **Lua cheia**.

Reflexão da luz

Se colocarmos um objecto em frente a uma folha de papel, verificamos que conseguimos ver a folha de papel porque a luz ambiente ao incidir sobre ela volta para trás, continuando a propagar-se no ar. Se colocarmos o mesmo objecto em frente a um espelho plano, verificamos que este reproduz uma imagem do objecto.

Então, por que é que a folha de papel **não reproduz a imagem** do objecto tal como acontece com o espelho?

A explicação está nas características de cada uma destas superfícies.

A folha de papel, que é uma superfície polida e irregular, não permite a reprodução de uma imagem do objecto – é o fenómeno da **difusão da luz** (figura 4.19 **A**).

O espelho, uma superfície polida e regular, permite a reprodução de uma imagem do objecto – é o fenómeno da **reflexão da luz** (figura 4.19 **B**).

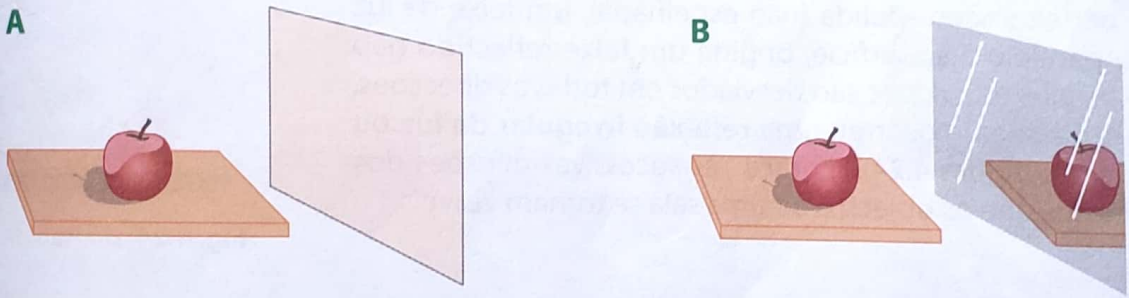


Fig. 4.19 Difusão e reflexão da luz

Reflexão é um fenómeno físico que ocorre com a mudança da direcção de propagação da luz – desde que o ângulo de incidência não seja de 90° – ou seja, consiste no retorno do feixe de luz incidente em direcção à região de onde ele veio, após o mesmo entrar em contacto com uma determinada superfície polida (reflectora).

Um espelho é, em geral, feito de vidro comum ou cristal, coberto de um dos lados por uma liga metálica adequada.

Os espelhos podem ser planos, curvilíneos ou esféricos (figura 4.20).

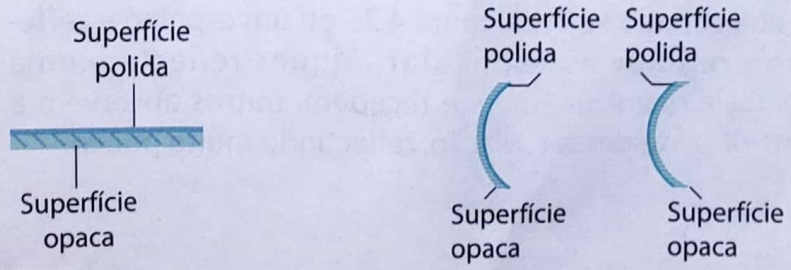


Fig. 4.20 Representação de um espelho plano e de um espelho curvo

Digitalizado com CamScanner

Ao raio luminoso que incide na superfície polida de um espelho plano dá-se o nome de **raio incidente**.

Ao raio luminoso resultante da reflexão da luz incidente num espelho plano designamos **raio reflectido**.

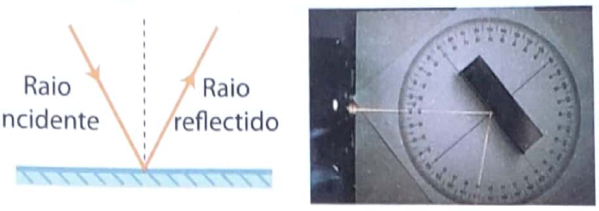


Fig. 4.21 Reflexão da luz com mudança de direcção e sentido da propagação da luz

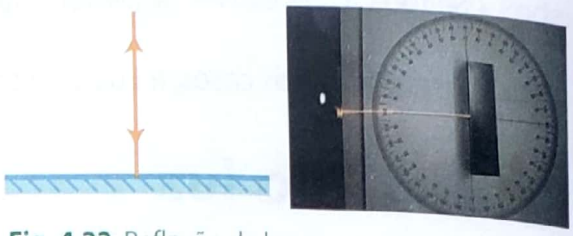


Fig. 4.22 Reflexão da luz apenas com mudança de sentido

A reflexão na superfície de um corpo depende do material da superfície, do polimento da superfície e do ângulo de incidência.

Quando a superfície onde a luz incide é perfeitamente polida (espelhada) e lisa, como a dos espelhos, a luz é reflectida de forma regular. Neste caso, um feixe incidente paralelo origina um feixe reflectido, também ele paralelo. Os raios reflectidos são desviados numa única direcção bem definida. Diz-se que ocorre a **reflexão regular da luz** (figura 4.23).

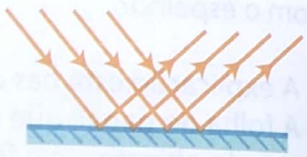


Fig. 4.23 Reflexão regular da luz

Quando a superfície onde a luz incide é irregular (rugosa), ou seja, não perfeitamente polida (não espelhada), um feixe de luz incidente, paralelo à superfície, origina um feixe reflectido não paralelo. Os raios reflectidos são desviados em todas as direcções. Neste caso, diz-se que ocorreu uma **reflexão irregular da luz** ou **difusão da luz** (figura 4.24). É graças às sucessivas difusões dos raios luminosos que os objectos de uma sala se tornam visíveis.



Fig. 4.24 Difusão da luz

Leis da reflexão da luz

A maior parte da luz que atinge os nossos olhos provém de reflexão. Alguns corpos reflectem a luz de forma desordenada e em todas as direcções – reflexão difusa ou difusão. Outros reflectem a luz de forma ordenada como o lago da figura 4.25 ou um espelho – **reflexão regular** ou **especular**. Alguns reflectem uma parcela maior da luz que recebem, outros absorvem a maior parte dessa radiação, reflectindo muito pouco.



Fig. 4.25 Reflexão regular

Digitalizado com CamScanner

Consideremos uma superfície perfeitamente polida que separa dois meios ópticos. Consideremos ainda um raio luminoso que incide, *i*, sobre a superfície formando um ângulo de incidência, $\hat{i}$, com a normal à superfície, N. Depois, este raio luminoso é reflectido pela superfície, formando um ângulo de reflexão (figura 4.26).

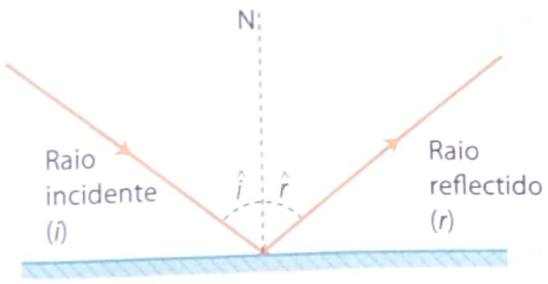


Fig. 4.26 Reflexão da luz

Este fenómeno obedece às seguintes duas leis da reflexão da luz:

- o raio incidente, *i*, a normal, N, e o raio reflectido, *r*, estão no mesmo plano;
- o ângulo de incidência, $\hat{i}$, é igual ao ângulo de reflexão, $\hat{r}$, ou seja, $\hat{i} = \hat{r}$.

Uma propriedade muito importante é que os raios incidente e reflectido são reversíveis, isto quer dizer que se fizermos incidir um raio no sentido que percorreu o raio reflectido, este seguirá o percurso do raio incidente.

Experiência

Verificação experimental das leis da reflexão da luz

Material

- Feixe de luz paralelo
- Disco graduado
- Espelho plano

Procedimento

1. Prender o espelho ao disco graduado e fazer incidir perpendicularmente, no espelho, o feixe de luz (figura 4.27).
2. Registar as observações.
3. Rodar o disco de modo a que o ângulo de incidência seja superior a 0° (figura 4.28).
4. Medir o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão.
5. Registar os valores numa tabela.
6. Tornar a rodar o disco de modo a variar o ângulo de incidência (figura 4.29).
7. Medir de novo os valores dos ângulos de incidência e de reflexão e registá-los na tabela.
8. Repetir estes procedimentos para outros ângulos de incidência.
9. Retirar conclusões das tuas observações.

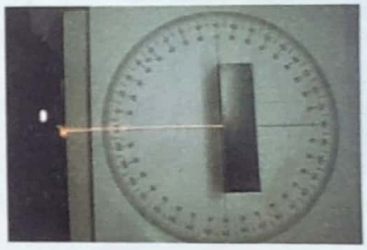


Fig. 4.27 Montagem experimental

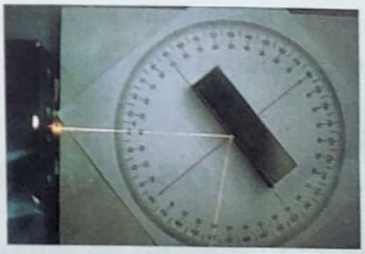


Fig. 4.28 Montagem experimental

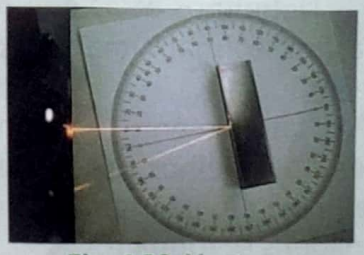


Fig. 4.29 Montagem experimental

Digitalizado com CamScanner

Física no dia-a-dia

Aplicações da reflexão

A reflexão da luz está na base do funcionamento de alguns instrumentos, como os espelhos, os radares e certos telescópios. Explica ainda certos fenómenos, como a visão dos objectos e o albedo dos planetas. O albedo de um planeta é a reflectividade desse planeta, ou seja, a fracção da radiação incidente que é por ele reflectida.

Como funciona um radar?

Um radar utiliza-se para localizar corpos a grandes distâncias e emite ondas que se reflectem num obstáculo, recebendo as ondas reflectidas.

Um radar emite e capta ondas electromagnéticas.



Fig. 4.30 Antena de radar

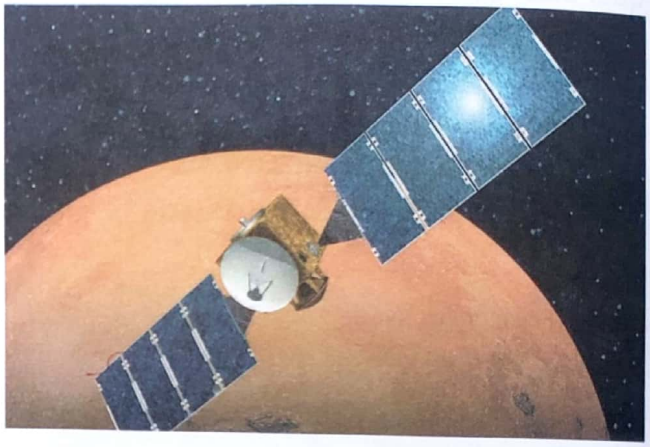


Fig. 4.31 A *Mars Express* tem um radar a bordo

As leis da reflexão da luz permitem compreender como se forma a imagem de um objecto num espelho, como veremos a seguir.

Espelhos planos

O fenómeno da reflexão regular da luz está ligado a objectos bem conhecidos – os espelhos.

Definimos atrás que os espelhos são superfícies polidas que formam imagens por reflexão e têm alto poder de reflexão.

Naturalmente já observaram imagens de objectos através de espelhos ou outras superfícies polidas. As leis da reflexão da luz permitem-nos perceber como é que essas imagens se formam.

As imagens dos objectos obtidas pela reflexão da luz nos espelhos podem ser **reais** ou **virtuais**.



Fig. 4.32 Algumas superfícies têm a capacidade de reflectir imagens dos objectos.

Digitalizado com CamScanner

São imagens reais aquelas que se podem obter quando projectadas num alvo, como as que se obtêm nas máquinas fotográficas.

As imagens virtuais são impossíveis de se obter através da sua projecção em qualquer alvo, aparecem no próprio espelho.



Fig. 4.33 Uma imagem real

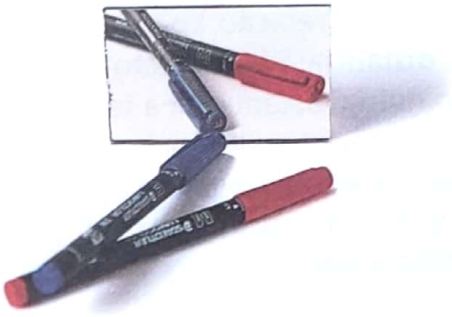


Fig. 4.34 Uma imagem virtual

Os espelhos planos são aqueles cuja superfície reflectora é plana.

Imagens produzidas por espelhos planos

Imagem de um ponto: um espelho plano é toda a superfície plana polida que reflecte regularmente a luz. Para construirmos geometricamente a imagem de um objecto pontual, P, que se encontra em frente do espelho, devemos:

- A partir do ponto-objecto (P), traçar a perpendicular ao espelho (PK) e prolongá-la.
- Traçar o raio luminoso PO que incide no espelho no ponto O.
- Levantar a perpendicular ao espelho no ponto O (normal ON).
- Com o transferidor, medir o ângulo de incidência $\hat{i}$.
- Ainda com o transferidor, medir o ângulo de reflexão $\hat{r}$ (não te esqueças que $\hat{i} = \hat{r}$).
- Traçar o raio reflectido OB e prolongá-lo até encontrar a perpendicular PK no ponto P'.
- O ponto P' é o ponto-imagem do ponto-objecto P.

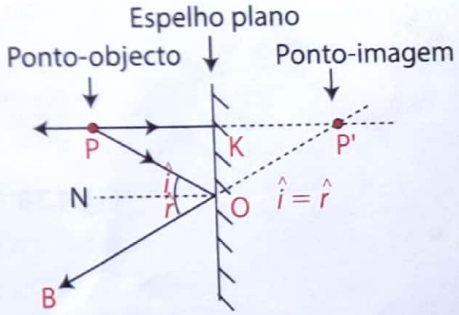


Fig. 4.35 Imagem de um objecto pontual

A análise da figura 4.35 permite-nos concluir que a imagem tem as seguintes **características**:

- É uma **imagem virtual** porque se forma pelo cruzamento dos prolongamentos dos raios reflectidos e, por isso, não pode ser projectada num alvo.
- A imagem do ponto-objecto é também um ponto.
- A imagem localiza-se atrás do espelho de tal forma que a distância imagem-espelho é igual à distância objecto-espelho.
- A imagem e o objecto são simétricos em relação ao espelho.

Digitalizado com CamScanner

Imagem de um objecto não pontual: basta construir a imagem simétrica do objecto tendo o espelho plano como eixo de simetria. Para um objecto colocado na frente de um espelho plano, os raios provenientes do objecto são reflectidos regularmente. O prolongamento dos raios reflectidos é que formam a imagem virtual. A imagem e o objecto são simétricos em relação ao espelho, isto é, encontram-se à mesma distância. Se o objecto se afastar ou se aproximar do espelho numa distância *d*, a imagem também se vai afastar ou aproximar numa distância *d*.

Assim, a imagem de um objecto, num espelho plano, é virtual, direita, do mesmo tamanho que o objecto e simétrica em relação a este.

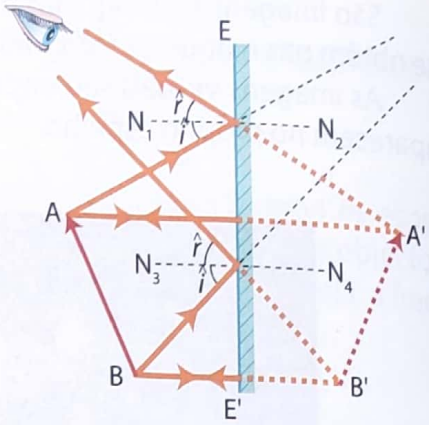


Fig. 4.36 Formação da imagem num espelho plano

Características das imagens obtidas por espelhos planos

Se observares a imagem de um objecto obtida por um espelho plano verificas que essa imagem é:

- direita;
- do mesmo tamanho do original;
- idêntica ao objecto;
- parece estar à mesma distância do espelho que o objecto;
- virtual, ou seja, não se pode obter num alvo.

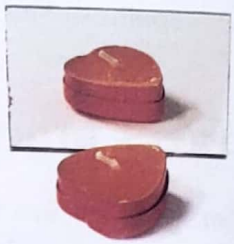


Fig. 4.37 Imagem obtida através de um espelho plano.

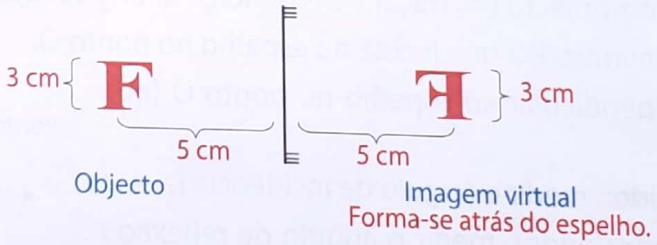


Fig.4.38 Características da imagem obtida por um espelho plano.

Experiência

Características das imagens obtidas por espelhos planos

Material

- Folha de papel com um traço a meio
- Esquadro
- Duas lamparinas
- Caixa de fósforos
- Placa de vidro
- Plasticina

Digitalizado com CamScanner

Procedimento

1. Sobre o traço da folha de papel colocar a placa de vidro, direita, presa por meio de plasticina.
2. À frente da placa de vidro colocar uma das lamparinas (figura 4.39).
3. Com o esquadro medir a distância da lamparina à placa de vidro.
4. Registar o valor da distância medida.
5. Abaixar um pouco e espreitar através do vidro, por detrás dele.

Responde

- Que objecto parece estar na parte detrás da placa de vidro?
- Como explicas esse facto?

6. Na mesma posição e com o esquadro, medir a distância a que a lamparina se encontra da placa; depois, pela parte detrás da placa de vidro, medir a distância a que a imagem da lamparina parece encontrar-se da placa.

Responde

- Que relação existe entre as duas distâncias medidas?

7. Colocar agora a outra lamparina por detrás da placa de vidro onde te parece estar a imagem da primeira.
8. Acender a lamparina da frente (figura 4.40).

Responde

- A lamparina detrás parece estar acesa ou apagada?
- Porquê?

9. Levar o dedo ao pavio da lamparina que está atrás da placa (figura 4.41).
10. Registar as observações.

Responde

- Como explicas que o teu dedo pareça estar dentro da chama?

11. Apagar a lamparina que se encontra acesa e retirá-la detrás do papel.
12. Encostar o esquadro à placa de vidro e observar a imagem reflectida na placa de vidro (figura 4.42).

Responde

- Como classificas a imagem do esquadro?

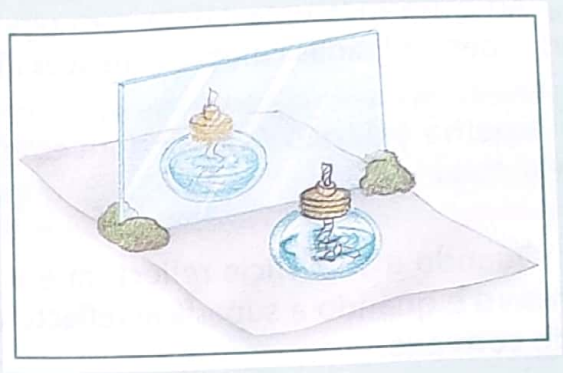


Fig. 4.39 Montagem experimental



Fig. 4.40 Montagem experimental

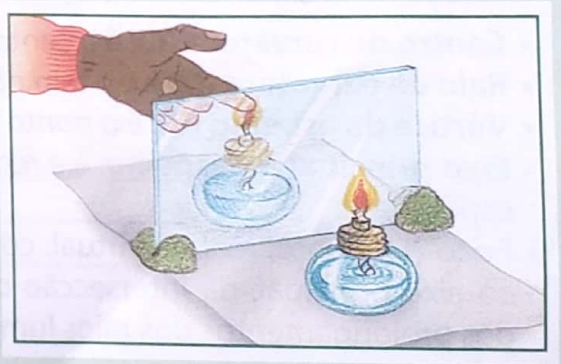


Fig. 4.41 Montagem experimental

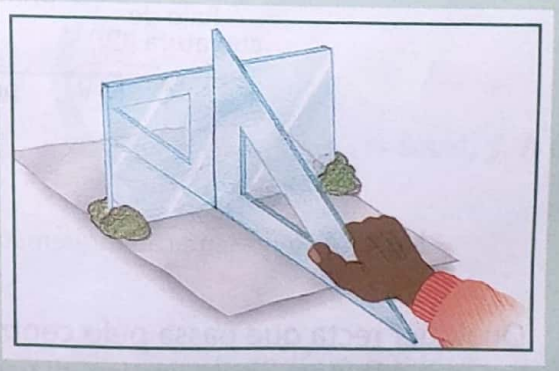


Fig. 4.42 Montagem experimental

Digitalizado com CamScanner

Espelhos esféricos

Ao cortarmos uma esfera com um plano, dividimos a esfera em duas partes denominadas **calotes esféricas** (figura 4.43).

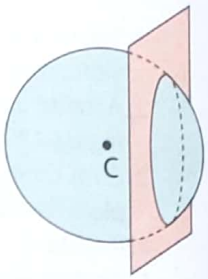


Fig. 4.43 Calotes esféricas

O **espelho esférico** é uma calote esférica na qual uma das superfícies é reflectora.

Quando a superfície reflectora é a interna, o espelho é denominado **côncavo** e quando a superfície reflectora é a externa, o espelho é denominado **convexo**.

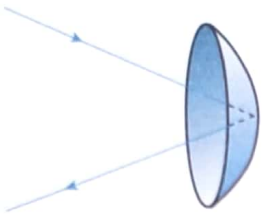


Fig. 4.44 Espelho côncavo: a superfície interior reflecte a luz.

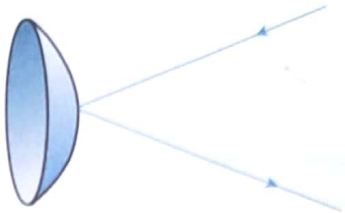


Fig. 4.45 Espelho convexo: a superfície exterior reflecte a luz.

Elementos principais

Os elementos geométricos que caracterizam um espelho esférico são:

- **Centro de curvatura (C)**: é o centro da superfície esférica.
- **Raio de curvatura (CV)**: é o raio da esfera que contém o espelho.
- **Vértice do espelho (V)**: é o ponto equidistante dos bordos do espelho.
- **Eixo principal do espelho**: é a recta que passa pelo centro de curvatura e pelo vértice do espelho.
- **Foco (F)**: ponto, real ou virtual, conforme resulta, para raios que incidem paralelamente ao eixo principal, da intersecção dos raios luminosos reflectidos (espelhos côncavos) ou dos prolongamentos dos raios luminosos reflectidos (espelhos convexos).

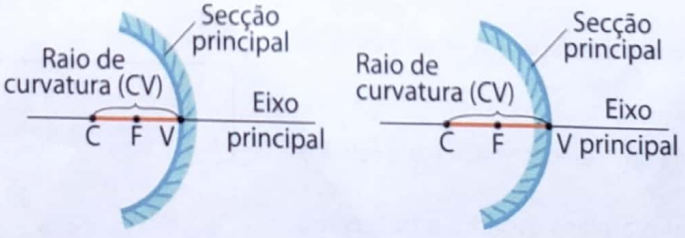


Fig.4.46 Representação esquemática de um espelho côncavo e de um espelho convexo

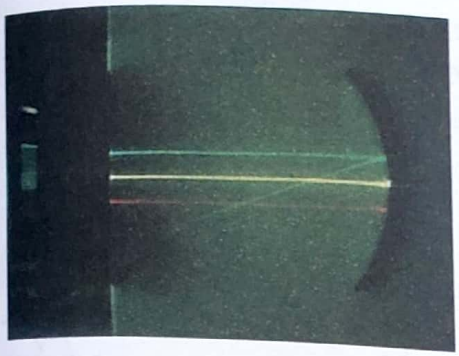
Qualquer recta que passa pelo centro de curvatura e por qualquer ponto da superfície polida, mas que não passa pelo vértice, diz-se que é um eixo secundário do espelho. Segundo as leis da reflexão da luz, um raio luminoso que incide num espelho esférico, paralelamente ao eixo principal, reflecte-se passando por um ponto que se chama **foco (F)**.

Digitalizado com CamScanner

(Para se localizar o foco (F) dos espelhos esféricos, devemos virar a superfície reflectora (côncava) para o Sol. Como o Sol se encontra muito distante, os seus raios luminosos vão incidir paralelamente ao eixo principal dos espelhos. Estes raios são paralelos e após serem reflectidos pelo espelho, retornam o seu caminho passando pelo foco.

Se um feixe de raios paralelos ao eixo principal incidir sobre um espelho côncavo, depois de reflectidos, eles convergem no chamado foco principal, F.

Nos espelhos côncavos, o foco é real, isto é, pode ser projectado num alvo e resulta do cruzamento dos raios reflectidos.



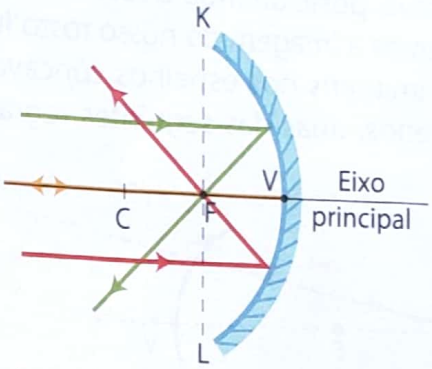
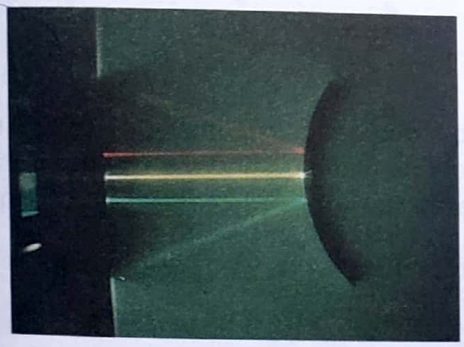


Fig. 4.47 Reflexão de raios de luz que incidem paralelamente ao eixo principal de um espelho côncavo.

Se um feixe de raios paralelos ao eixo principal incidir sobre um espelho convexo, os raios reflectidos serão divergentes de forma que o prolongamento dos mesmos cruzam-se no chamado foco principal, F.

Nos espelhos convexos, o foco é virtual e resulta do cruzamento dos prolongamentos dos raios reflectidos que incidiram paralelamente ao eixo principal.



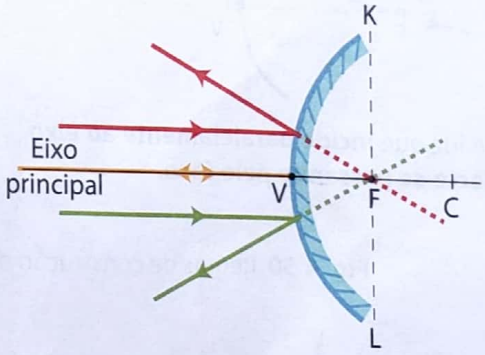


Fig. 4.48 Reflexão de raios de luz que incidem paralelamente ao eixo principal de um espelho convexo.

O plano KL que passa pelo foco principal é chamado plano focal.

A distância desde o foco principal até ao vértice recebe o nome de distância focal, f. A distância focal é igual a metade do raio:

$$f = \frac{R}{2}$$

Se um feixe de raios paralelos incide paralelamente a um eixo secundário qualquer, então os raios reflectidos (ou prolongamentos) cruzam-se num ponto que fica no plano focal KL.

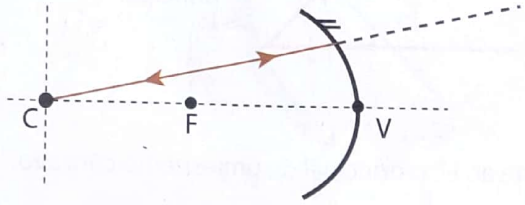
Digitalizado com CamScanner

Reflexão de raios paralelos, focais e centrais num espelho côncavo

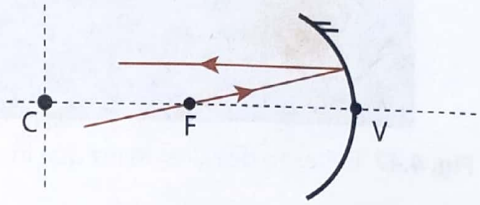
Uma colher metálica é um espelho curvo rudimentar (figura 4.49). Mesmo não sendo lisa e polida como um espelho verdadeiro, ela dá-nos imagens dos objectos que se refletem na sua superfície. Vamos, por exemplo, observar o nosso rosto reflectido numa colher. Se olharmos para a face côncava, posicionando o rosto um pouco afastado da colher, veremos a imagem do nosso rosto **invertida**. A construção das imagens nos espelhos côncavos é feita à custa de, pelo menos, duas das seguintes regras de construção:



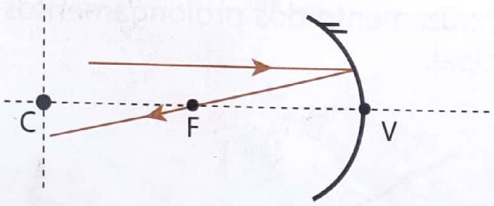
Fig. 4.49 Superfície espelhada côncava (**A**) e convexa (**B**)



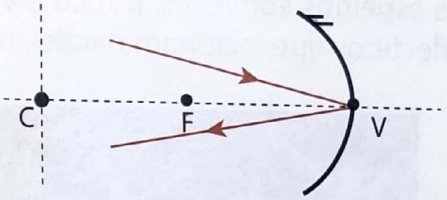
Todo o raio de luz que **incide no espelho passando pelo centro de curvatura, reflecte-se sobre si mesmo.**



Todo o raio de luz que **incide no espelho passando pelo foco, reflecte-se paralelamente ao eixo principal.**



Todo o raio de luz que **incide paralelamente ao eixo principal reflecte-se passando pelo foco.**



Todo o raio de luz que **incide no vértice reflecte-se** de tal forma que o **ângulo incidente e o ângulo de reflexão são iguais** em relação ao eixo principal.

Fig. 4.50 Regras de construção das imagens nos espelhos côncavos

Construção geométrica de imagens em espelhos côncavos

Vamos, agora, proceder à construção das imagens em espelhos côncavos. Neste tipo de espelhos, dependendo da posição do objecto em frente do espelho, podemos obter as seguintes imagens:

1. Objecto colocado no infinito

Quando um objecto é colocado muito afastado do espelho côncavo, como, por exemplo, o Sol, os raios luminosos vindos do objecto incidem paralelamente ao eixo principal e reflectem-se, cruzando-se no foco do espelho.

Digitalizado com CamScanner

Construção da imagem: a imagem pode ser obtida através de dois raios paralelos.

Características da imagem: a imagem é real, pontual e fica localizada no foco.

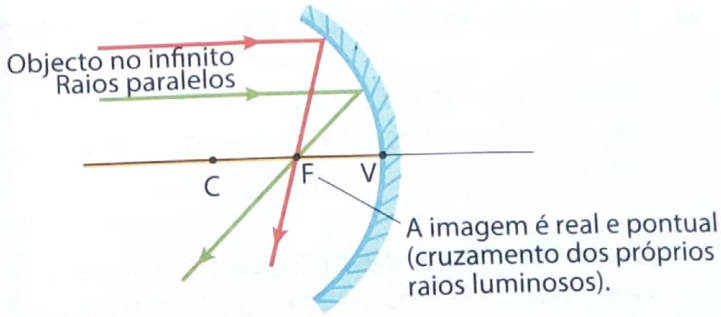


Fig. 4.51 Imagem num espelho côncavo de um objecto colocado no infinito.

2. Objecto colocado além do centro de curvatura

Construção da imagem: a imagem pode ser obtida através de um raio paralelo, raio XA, e outro central, raio XB.

Características da imagem: a imagem é real, invertida, menor que o objecto e fica localizada entre o centro de curvatura e o foco.

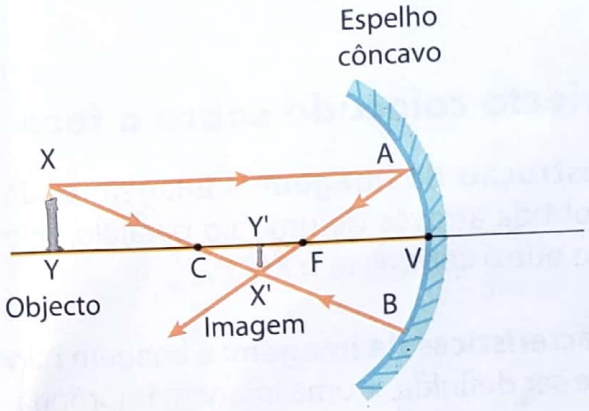


Fig. 4.52 Imagem num espelho côncavo de um objecto colocado além do centro de curvatura.

3. Objecto colocado sobre o centro de curvatura

Construção da imagem: a imagem pode ser obtida através de um raio paralelo, raio XA, e outro focal, raio XB.

Características da imagem: a imagem é real, invertida, do mesmo tamanho do objecto e fica localizada sobre o centro de curvatura.

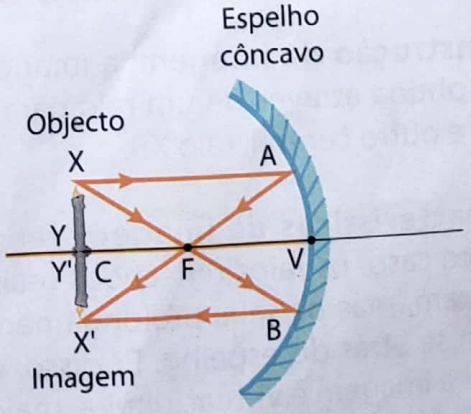


Fig. 4.53 Imagem num espelho côncavo de um objecto colocado sobre o centro de curvatura.

Digitalizado com CamScanner

4. Objecto colocado entre o centro de curvatura e o foco principal

Construção da imagem: a imagem pode ser obtida através de um raio paralelo, raio XA, e outro central, raio XB.

Características da imagem: a imagem é real, invertida, maior que o objecto e fica localizada para além do centro de curvatura.

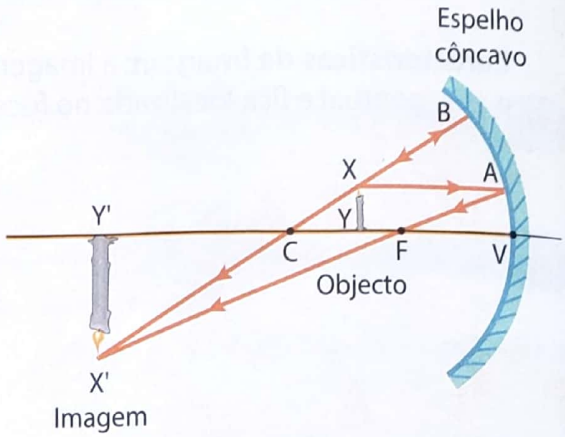


Fig. 4.54 Imagem num espelho côncavo de um objecto colocado entre o centro de curvatura e o foco.

5. Objecto colocado sobre o foco

Construção da imagem: a imagem pode ser obtida através de um raio paralelo, raio XA, e outro central, raio XB.

Características da imagem: a imagem não pode ser definida, é uma imagem imprópria.

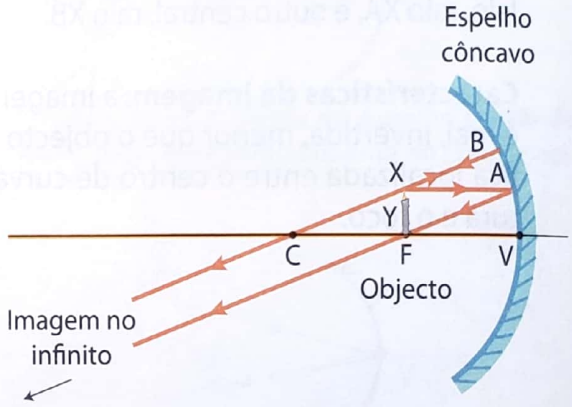


Fig. 4.55 Imagem num espelho côncavo de um objecto colocado sobre o foco.

6. Objecto colocado entre o foco principal e o vértice

Construção da imagem: a imagem pode ser obtida através de um raio paralelo, raio XA, e outro central, raio XB.

Características da imagem: repara que, neste caso, os raios reflectidos reais não se cruzam, mas os seus prolongamentos cruzam-se atrás do espelho. Por isso, dizemos que a imagem é virtual, direita, maior que o objecto e fica localizada atrás do espelho.

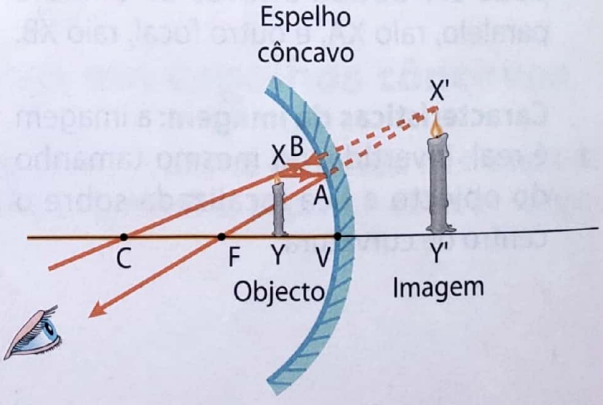


Fig. 4.56 Imagem num espelho côncavo de um objecto colocado entre o foco e o vértice.

Digitalizado com CamScanner

Experiência

Observação experimental das características das imagens obtidas através de espelhos côncavos

Material

- Suporte
- Alvo (folha de cartolina branca ou parede)
- Vela
- Caixa de fósforos
- Suporte para a vela (pode ser uma placa de vidro)
- Espelho côncavo

Procedimento

1. Colocar o espelho côncavo sobre o suporte.
2. Colocar o alvo sobre o suporte.
3. Colocar a vela acesa em frente ao espelho e próxima deste.

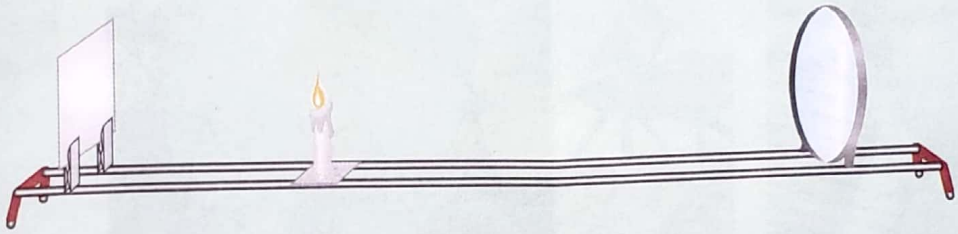


Fig. 4.57 Montagem experimental

4. Ir afastando a vela do espelho e comparar as sucessivas imagens observadas.

Observações

- Completa a tabela seguinte com as observações efectuadas.

Posição do objecto relativamente ao espelho	Características das imagens obtidas
A uma distância menor que metade do valor do raio de curvatura	
A uma distância de valor compreendido entre o raio de curvatura e a sua metade	
A uma distância superior ao valor do raio de curvatura	

Digitalizado com CamScanner

Física no dia-a-dia

Os espelhos no dia-a-dia

Os espelhos esféricos côncavos têm diversas aplicações de grande utilidade:

- são usados nos faróis dos automóveis, como reflectores;
- são utilizados na astronomia, nos telescópios;
- são utilizados nos espelhos «de aumento»;
- é ainda possível usar espelhos deste tipo em espaços domésticos uma vez que produzem imagens maiores do que os objectos.

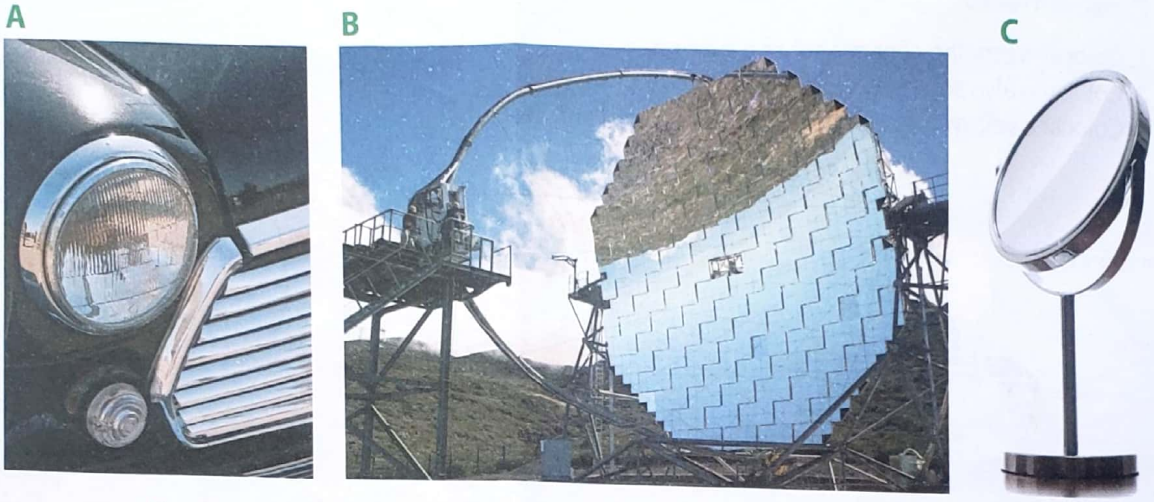


Fig. 4.58 Faróis dos automóveis (**A**); telescópio (**B**); espelho de «aumento» (**C**)

Os espelhos esféricos convexos também têm muitas aplicações úteis:

- usam-se nos retrovisores dos automóveis porque, reduzindo o tamanho das imagens, aumentam o campo de visão;
- também se encontram em cruzamentos de ruas, pela mesma razão.

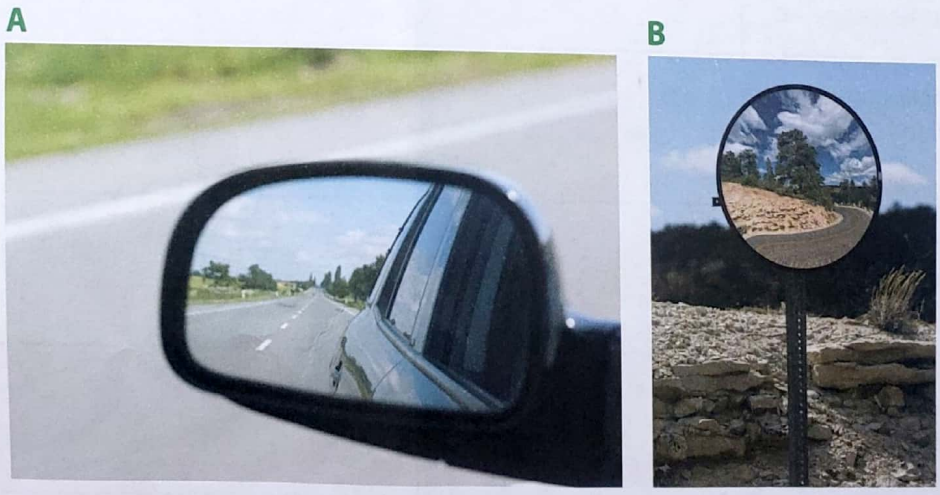


Fig. 4.59 Retrovisor do automóvel (**A**) e espelho numa estrada (**B**)

Digitalizado com CamScanner

1. Usando apenas palavras ou expressões do seguinte conjunto, completa correctamente as frases que se seguem:
(luz, Terra, opaco, impossível, câmara escura, linha recta, visão clara, translúcido, fontes luminosas, penumbra, Sol, muita dificuldade, direcções, pouco nítida, transparente, eclipse, não se propaga, sombra, propagação rectilínea da luz, Lua)

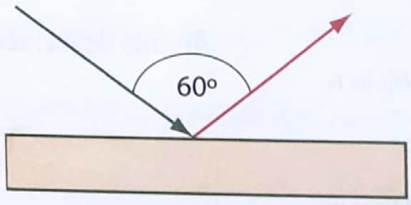
a) A luz provém das _____ e propaga-se em _____ em todas as direcções. Se o meio for _____ os raios luminosos propagam-se com facilidade, permitindo uma _____ dos objectos, mas se o meio for opaco, a luz _____ sendo _____ ver através dele. Já num meio _____, a luz propaga-se com alguma dificuldade, sendo a visão dos objectos através desse meio _____.

b) Se um corpo _____ for colocado no caminho da luz, formam-se zonas de _____ e de _____ como consequência da _____.

2. O motorista de um carro olha pelo espelho retrovisor interno e vê o passageiro do banco traseiro. Se o passageiro olhar para o mesmo espelho verá o motorista. Este facto explica-se pelo:
A. Princípio da independência dos raios luminosos.
B. Fenómeno da dispersão dos raios luminosos na superfície do espelho.
C. Princípio da propagação rectilínea da luz.
D. Princípio da reversibilidade dos raios luminosos.

3. Um raio de luz incide numa superfície plana com um ângulo de incidência de 50°. Determina o ângulo de reflexão desse raio.

4. O ângulo formado entre o raio incidente e o raio reflectido numa superfície espelhada é de 60°. Determina os ângulos de incidência e de reflexão.



5. A imagem de um objecto dada por um espelho côncavo é invertida e fica situada entre o centro de curvatura e o foco. Onde se localiza o objecto em frente ao espelho?
A. Entre F e V **B.** No foco **C.** Para lá do centro C **D.** No centro C

6. Um objecto situado a 20 cm de um espelho côncavo forma uma imagem real de tamanho igual ao do objecto. Se o objecto for deslocado para 10 cm do espelho, a nova imagem aparecerá a uma distância de:
A. 10 cm **B.** 15 cm **C.** 20 cm **D.** Infinita

7. Um objecto O de 5,0 cm de comprimento está apoiado no eixo principal de um espelho esférico côncavo de distância focal 40 cm, a 50 cm do vértice do espelho.
a) Determina a distância da imagem ao vértice do espelho.
b) Determina o valor do comprimento da imagem.
c) Numa escala adequada, faz a construção geométrica da imagem.

Digitalizado com CamScanner

Refracção da luz

Quando introduzimos uma colher num copo com água, esta parece estar partida.

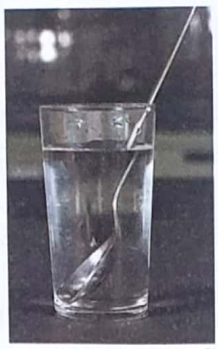


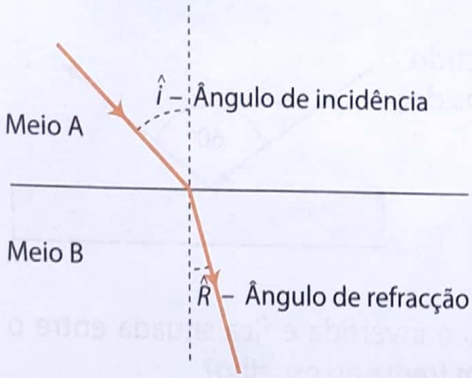
Fig. 4.60 A colher parece partida na superfície de separação ar-água.

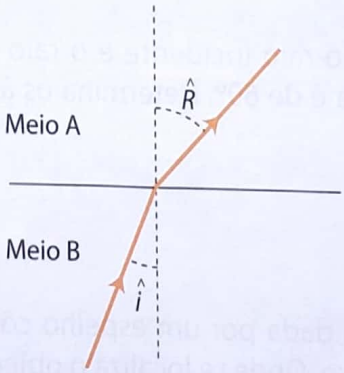
É claro que não está, mas qual é a explicação para aquilo que nos é dado observar?

A luz propaga-se com diferentes velocidades consoante o meio óptico que está a atravessar.

Assim, ao incidir na superfície de separação entre dois meios transparentes, atravessa-a, provocando uma mudança de direcção na propagação da luz. Este fenómeno designa-se por **refracção da luz**.

A refracção da luz é o fenómeno óptico que ocorre sempre que a luz atravessa a superfície de separação entre dois meios transparentes diferentes, alterando a sua velocidade de propagação e, em geral, também a direcção da sua propagação.





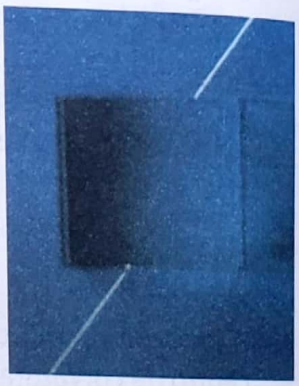


Fig. 4.61 Mudança de direcção da luz quando atravessa dois meios ópticos diferentes.

A luz só não sofre um desvio na direcção, ao atravessar a superfície de separação de dois meios ópticos, quando incide perpendicularmente a essa superfície.

É também devido ao fenómeno da refracção da luz que uma pedra no fundo de um poço de água nos parece estar mais próxima da superfície do que na realidade está.

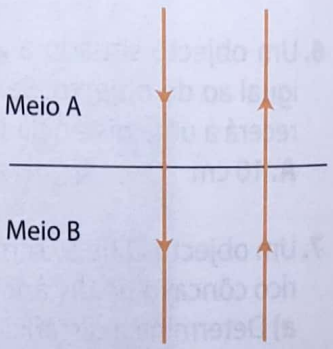


Fig. 4.62 A luz não sofre mudança de direcção quando incide perpendicularmente à superfície de separação de dois meios ópticos diferentes.

Digitalizado com CamScanner

Experiência

Refracção da luz

Material

- Um copo
- Água
- Uma moeda
- Uma régua

Procedimento

Parte A

1. Colocar uma moeda no fundo de um copo vazio, de modo que, espreitando pela borda do copo, não a consigas visualizar.
2. Sem mudar o local de observação, deitar água no copo, muito lentamente, de modo a não deslocar a moeda.

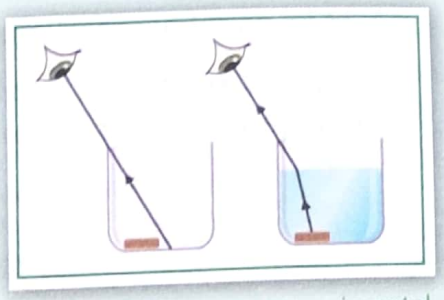


Fig. 4.63 Montagem experimental

O que observas?

Após deitares uma certa quantidade de água no copo, a moeda ficará visível.

Parte B

1. Mergulhar um lápis num copo com água.

O que observas?

Olhando obliquamente, terás a sensação que, junto à superfície de separação ar-água, o lápis parece quebrado.



Fig. 4.64 Montagem experimental

Nas duas experiências realizadas, dizemos que a **luz se refractou** ou que **a luz sofreu refracção** ao passar da água para o ar ou do ar para a água.

O termo **refracção** vem do latim *refractus* e significa **dobrado**, **desviado**, **quebrado** ou até **descontínuo**.

Esse efeito que vemos na imagem é explicado pela Física como a **mudança na velocidade de propagação da luz ao mudar de meio de propagação**. Dobrar ou desviar a luz de forma controlada permitiu ao Homem construir uma quantidade enorme de utensílios desde a correcção de problemas de visão a telescópios de última geração, passando por máquinas fotográficas, filmadoras, lunetas, projectores e muito mais.

Quando um feixe de luz passa de uma substância transparente para outra, em incidência não normal, sofre uma inclinação. Essa **inclinação** depende do ângulo de incidência em relação à normal e da diferença de densidade entre os meios em questão.

Quando um raio de luz passa de um meio para outro, a sua velocidade muda, sofrendo, em consequência, um desvio na sua direcção de propagação. Por exemplo, quando a luz passa do ar para a água, a sua velocidade diminui de 300 000 km/s (no ar) para, aproximadamente, 225 000 km/s (na água). Já, ao passar do ar para o vidro, a velocidade da luz varia de 300 000 km/s (no ar) para cerca de 200 000 km/s (no vidro). Em conclusão,

Refracção da luz é o desvio da direcção de propagação dos raios luminosos quando a luz passa de um meio para outro, desvio esse que é acompanhado pela mudança da velocidade da luz de um meio para o outro.

Digitalizado com CamScanner

Leis da refracção da luz

Assim como na reflexão, a refracção da luz também está fundamentada em duas leis:

- **1.ª lei da refracção**: o raio incidente, a normal no ponto de incidência e o raio refractado pertencem ao mesmo plano.

A 2.ª lei da refracção estabelece uma relação entre os ângulos de incidência e de refracção.

- **2.ª lei da refracção**: a razão entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refracção será sempre constante para um par de meios transparentes.

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{R}} = \text{const.} \Leftrightarrow \frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{R}} = \frac{v_A}{v_B}$$

Considera dois meios transparentes quaisquer como, por exemplo, os meios A e B. Um raio de luz viaja pelo meio A em direcção ao meio B. No ponto de incidência desse raio de luz, na fronteira entre esses dois meios, constrói-se uma recta que faz 90° com a superfície de separação. Essa recta é chamada de **recta normal**. Entre a recta normal e o raio incidente, temos o **ângulo de incidência** e entre o raio refractado e a recta normal temos o **ângulo de refracção**. A 2.ª lei da refracção diz que a razão entre os senos desses ângulos é constante.

Observa a figura 4.65 e repara que a constante é dada pela razão dos senos, isto é, na verdade, a razão entre a velocidade da luz no meio A e a velocidade da luz no meio B. Se a luz estivesse a vir pelo meio B, a razão entre as velocidades da luz seria de B por A.

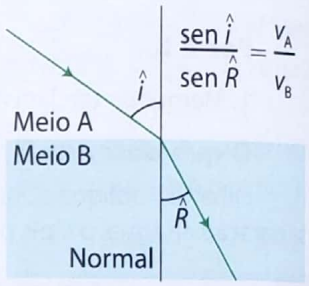


Fig. 4.65 Refracção da luz

Índice de refracção absoluto e refrangência de um meio

A velocidade da luz depende do meio no qual esta se propaga; ao passar do ar para a água, por exemplo, a velocidade da luz diminui de $c = 300\,000$ km/s (no ar) para $v_{\text{água}} = 225\,000$ km/s (na água). Se dividirmos a velocidade da luz no ar pela velocidade da luz na água, saberemos quantas vezes a velocidade da luz na água é menor que no ar, isto é:

$$n_{\text{água}} = \frac{c}{v_{\text{água}}} = \frac{300\,000 \text{ km/s}}{225\,000 \text{ km/s}} = 1{,}33$$

Quer dizer, a velocidade da luz no ar é 1,33 vezes maior que na água.

Se dividirmos a velocidade da luz no ar pela velocidade da luz no vidro ($v_{\text{vidro}} = 200\,000$ km/s), saberemos quantas vezes a velocidade da luz no vidro é menor que no ar, isto é:

$$n_{\text{vidro}} = \frac{c}{v_{\text{vidro}}} = \frac{300\,000 \text{ km/s}}{200\,000 \text{ km/s}} = 1{,}5$$

Quer dizer, a velocidade da luz no ar é 1,5 vezes maior que no vidro.

Índice de refracção de um meio é a razão entre a velocidade da luz no vácuo e no meio em análise.

$$n_{\text{meio}} = \frac{c}{v_{\text{meio}}}$$

Digitalizado com CamScanner

O **índice de refracção de um dado meio em relação ao vácuo**, isto é, quando a passagem dos raios luminosos ocorre do vácuo para um determinado meio, chama-se **absoluto**.

Como o valor de c é superior ao valor de v_{meio}, então **o índice de refracção absoluto é sempre superior à unidade**.

Se considerarmos que a luz passa de um meio de índice de refracção n_1 para outro meio de índice de refracção n_2, então:

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \quad \text{e} \quad n_2 = \frac{c}{v_2}$$

Daqui, $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{c\,v_1}{c\,v_2} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}$ – **índice de refracção relativo**.

Ao analisarmos o fenómeno da refracção da luz, podem surgir duas situações que nos permitem determinar qual dos meios ópticos envolvidos é **mais refrangente** e qual é **menos refrangente**.

1.º O **raio refractado aproxima-se da normal** – o ângulo de refracção é menor que o ângulo de incidência. Quando a luz passa de um meio óptico 1 para um meio óptico 2, de tal forma que o **raio refractado se aproxima da normal**, isto é, se o ângulo de incidência for maior que o ângulo de refracção ($\hat{i} > \hat{R}$), dizemos que o **meio 2 é mais refrangente** que o **meio 1**. Sendo assim, o índice de refracção do meio 2 é maior que o índice de refracção do meio 1.

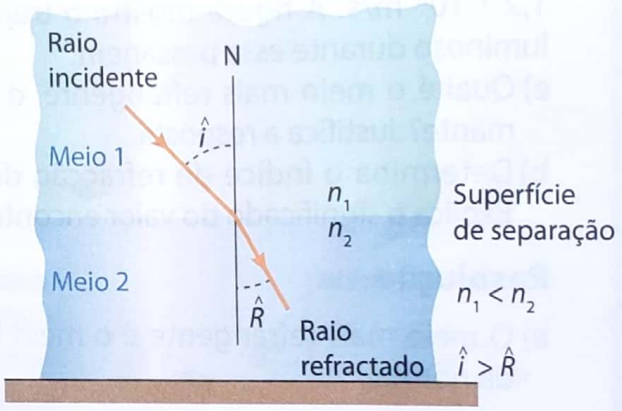


Fig. 4.66 O raio refractado aproxima-se da normal.

2.º O **raio refractado afasta-se da normal** – o ângulo de refracção é maior que o ângulo de incidência. Quando a luz passa de um meio óptico 1 para um meio óptico 2, de tal forma que o **raio refractado se afasta da normal**, isto é, se o ângulo de incidência for menor que o ângulo de refracção ($\hat{i} < \hat{R}$), dizemos que o **meio 2 é menos refrangente que o meio 1**. Sendo assim, o índice de refracção do meio 2 é menor que o índice de refracção do meio 1.

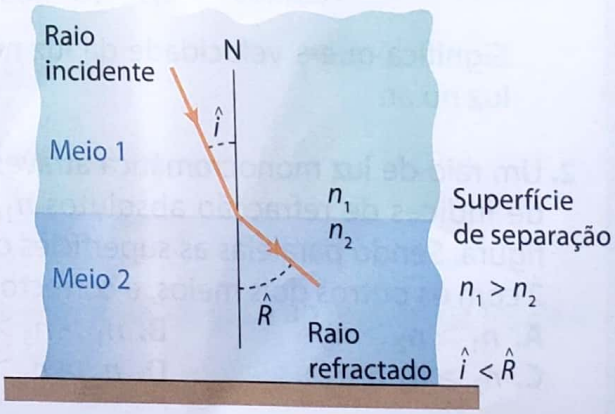


Fig. 4.67 O raio refractado afasta-se da normal.

A razão entre o seno do ângulo de incidência, $\hat{i}$, e o seno do ângulo de refracção, $\hat{R}$, para os dois meios em questão é constante:

$$\frac{\text{sen}\,\hat{i}}{\text{sen}\,\hat{R}} = n_{21}$$

onde: $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ é o índice de refracção relativo do segundo meio em relação ao primeiro.

Digitalizado com CamScanner

Diz-se que quanto menor é a velocidade de propagação da luz num meio, ou seja, quanto maior for o índice de refracção desse meio, maior é a sua refrangência, isto é, mais refrangente é esse meio. O raio luminoso ao passar de um meio menos refrangente para um meio mais refrangente vai aproximar-se da normal no ponto de incidência.

Os raios incidentes e refractados são reversíveis, ou seja, se fizermos passar um raio no sentido contrário, ele percorrerá a mesma trajectória mas em sentido oposto. Por conseguinte, se o raio luminoso passar do meio mais refrangente (opticamente mais denso) para o meio menos refrangente (opticamente menos denso), afastar-se-á da perpendicular.

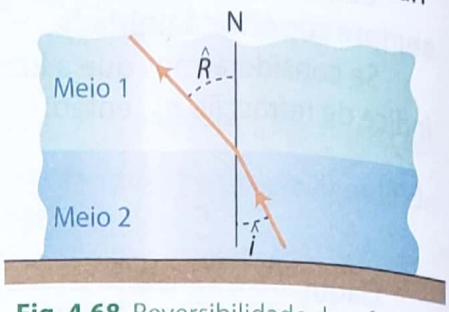
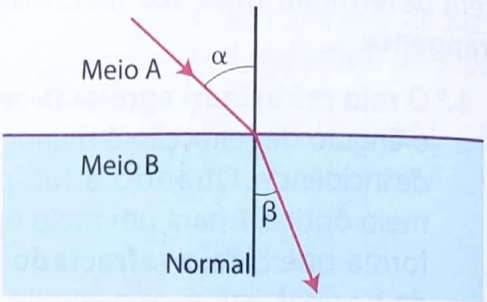


Fig. 4.68 Reversibilidade da refracção

Exercícios resolvidos

1. Ao passar do ar (meio A) para o diamante (meio B) a velocidade da luz diminui de $3 \cdot 10^8$ m/s para $1{,}2 \cdot 10^8$ m/s. A figura mostra o trajecto do raio luminoso durante essa passagem.



a) Qual é o meio mais refrangente, o ar ou o diamante? Justifica a resposta.

b) Determina o índice de refracção do diamante. Explica o significado do valor encontrado.

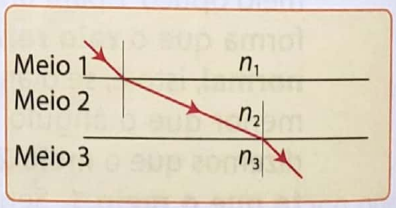
Resolução

a) O meio mais refrangente é o meio B (diamante) porque o raio refractado aproxima-se da normal.

b) $n_{\text{diamante}} = \dfrac{c}{v_{\text{diamante}}} = \dfrac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1{,}2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 2{,}5$

Significa que a velocidade da luz no diamante é 2,5 vezes menor que a velocidade da luz no ar.

2. Um raio de luz monocromática atravessa três meios ópticos de índices de refracção absolutos n_1, n_2 e n_3, conforme a figura. Sendo paralelas as superfícies de separação do meio 2 com os outros dois meios, é correcto afirmar que:



A. $n_1 > n_2 > n_3$ **B.** $n_1 > n_3 > n_2$

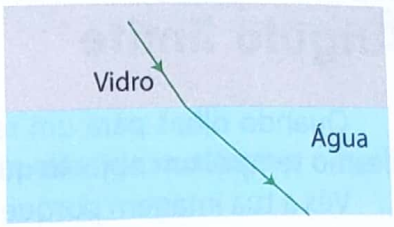
C. $n_2 > n_3 > n_1$ **D.** $n_2 > n_1 > n_3$

Resolução

- O meio 2 é menos refrangente que o meio 1, porque o raio refractado no meio 2 afasta-se da normal $\Rightarrow n_2 < n_1$.
- O meio 3 é mais refrangente que o meio 2, porque o raio refractado no meio 3 aproxima-se da normal $\Rightarrow n_3 > n_2$.
- O meio 3 é menos refrangente que o meio 1, porque o raio refractado no meio 3 forma um ângulo de emergência maior que o raio incidente no meio 1 $\Rightarrow n_3 < n_1$. Opção **B.**

Digitalizado com CamScanner

3. A figura mostra um feixe de luz que passa do vidro para a água.



a) De acordo com a figura, a água é mais ou menos refrangente do que o vidro? Justifica a resposta.

b) Sendo 1,5 e 1,3 os índices de refracção absolutos do vidro e da água, respectivamente, determina o índice de refracção da água em relação ao vidro.

c) Sendo 200 000 km/s a velocidade de propagação da luz no vidro, determina a velocidade da luz na água.

Resolução

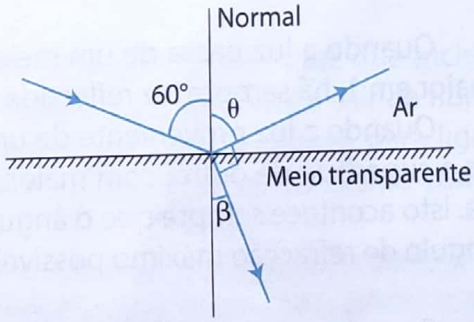
a) A água é menos refrangente do que o vidro porque ao passar do vidro para a água a luz refracta-se de maneira que o raio refractado se afasta da normal.

b) $n_{relativo} = \frac{n_{vidro}}{n_{água}} = \frac{1,5}{1,3} = 1,15$

c) $n_{relativo} = \frac{v_{vidro}}{v_{água}} \Leftrightarrow v_{vidro} = n_{relativo} \cdot v_{água}$

$v_{vidro} = 1,15 \cdot 200\,000 = 230\,000$ km/s

4. Um raio luminoso que se propaga no ar, $n_{ar} = 1$, incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refracção n, fazendo um ângulo de 60º com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio reflectido é perpendicular ao raio refractado, como ilustra a figura.



a) Quanto mede o ângulo θ? Justifica a resposta.

b) Quanto mede o ângulo β?

c) O meio transparente, representado na figura, é mais ou menos denso que o ar? Justifica a resposta.

d) Calcula o índice de refracção absoluto do meio transparente.

Resolução

a) De acordo com a lei da reflexão da luz, o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência, por isso, $\theta = 60º$.

b) Analisando a figura: $\beta + \theta = 90º \Leftrightarrow \beta = 30º$.

c) Mais refrangente que o ar, porque o raio refractado aproxima-se da normal.

d) $n = \frac{\text{sen } 60...}{\text{sen } 30...} = \frac{0,86}{0,5} = 1,72$

Digitalizado com CamScanner

Refracção, reflexão e reflexão total da luz. Ângulo limite

Quando olhas para um recipiente com água por vezes consegues ver a tua imagem e, ao mesmo tempo, um objecto que esteja no fundo do recipiente.

Vês a tua imagem porque há luz reflectida.

Vês o objecto porque também há luz refractada.

Geralmente, quando um feixe de luz incide na superfície de separação de dois meios ópticos diferentes, parte da luz reflecte-se e outra parte refracta-se (figura 4.69).

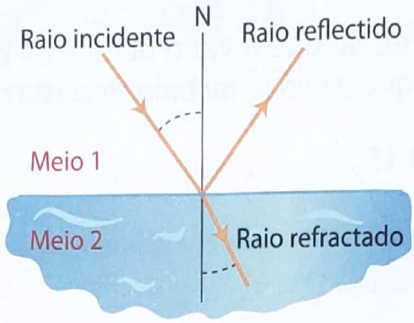


Fig. 4.69 A reflexão acompanha sempre o fenómeno da refracção.

Quando a luz passa de um meio 1 para um meio 2, sendo a sua velocidade de propagação maior em 1, há sempre luz reflectida e luz refractada.

Quando a luz proveniente de um meio óptico, com velocidade de propagação menor, atinge a superfície de outro, com maior velocidade de propagação, nem sempre existe luz refractada. Isto acontece sempre que o ângulo de refracção é maior que o ângulo de incidência, sendo o ângulo de refracção máximo possível de 90°.

Quando o ângulo de incidência corresponde a um ângulo de refracção de 90° passa a designar-se **ângulo limite**.

Para qualquer ângulo de incidência superior ao ângulo limite não existe refracção. Ocorre a reflexão total.

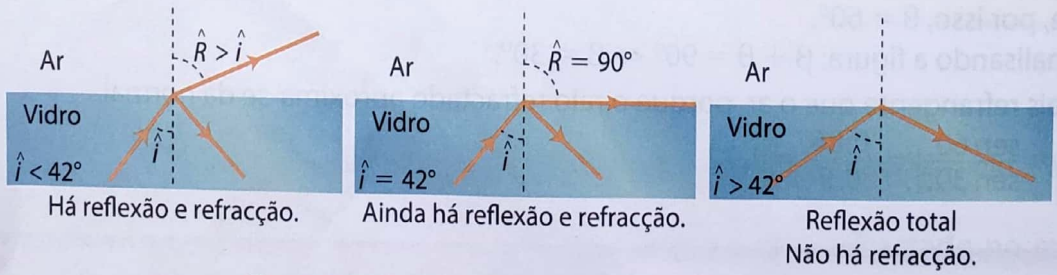


Fig. 4.70 Reflexão, refracção e reflexão total da luz

Digitalizado com CamScanner

Física no dia-a-dia

Miragens

O fenómeno das miragens nos desertos, ou até nas estradas em dias muito quentes, é explicado pela reflexão total da luz.

Junto ao solo muito quente, o ar constitui um meio heterogéneo. As camadas de ar junto ao solo são mais quentes e menos densas apresentando uma maior velocidade de propagação da luz. Deste modo, à medida que a luz solar vai «caminhando» para o solo vai-se refractando nas várias camadas de ar (por estas terem diferentes densidades), encurvando para baixo, até que a determinada altura esses raios luminosos sofrem reflexão total (figura 4.71).

Assim, o observador vê uma imagem invertida dos objectos no solo, onde parece haver uma camada de água que dá origem à imagem.

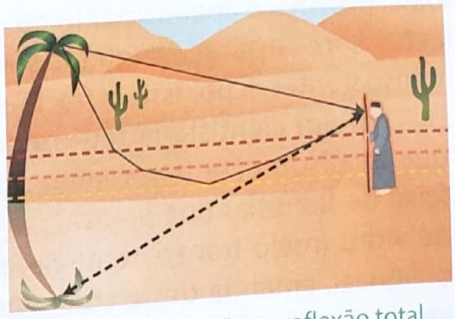


Fig. 4.71 Refracções e reflexão total na formação de uma miragem.

Fibras ópticas

As fibras ópticas são fibras ou fios de vidro ou de plástico transparente, muito finas (por vezes mais finas que um fio de cabelo humano) e flexíveis.

A luz é enviada através das fibras ópticas por sucessivas reflexões totais. A luz que incide numa ponta da fibra é guiada ao longo desta e aparece na outra ponta sem nunca sair da fibra.

As fibras ópticas têm aplicações importantes nas telecomunicações, em cabos para ligar uma aparelhagem a um amplificador, em enfeites luminosos e na medicina para o exame visual dos órgãos internos do paciente.

Nas telecomunicações, os cabos de fibras ópticas estão a substituir os cabos de cobre, permitindo melhor qualidade de sinal e maior transporte de informação que um cabo eléctrico de igual espessura.

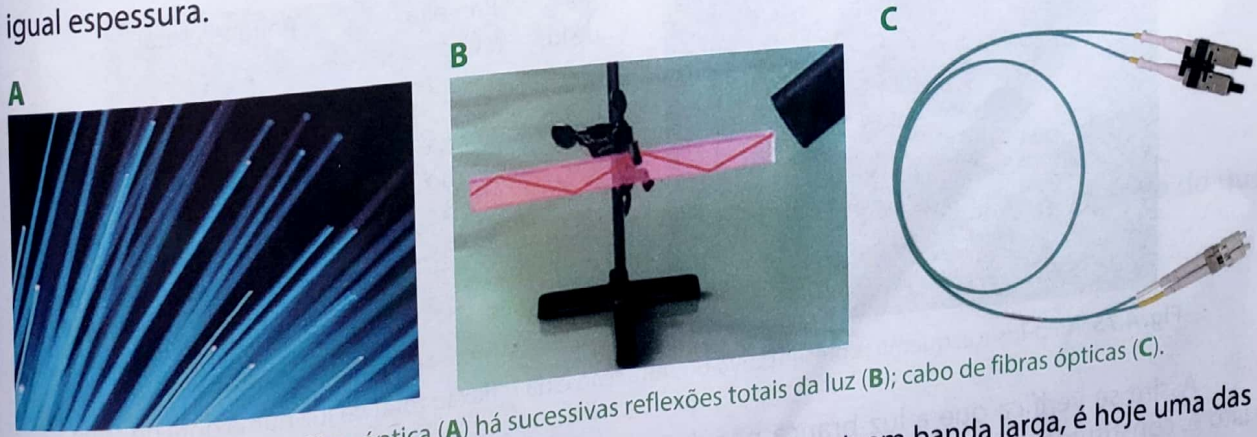


Fig. 4.72 Numa fibra óptica (**A**) há sucessivas reflexões totais da luz (**B**); cabo de fibras ópticas (**C**).

A transmissão de informação a alta velocidade, via Internet, em banda larga, é hoje uma das grandes aplicações das fibras ópticas.

Digitalizado com CamScanner

Arco-íris

Com certeza já tiveste oportunidade de observar um arco-íris ou outras situações em que a luz, ao incidir em gotículas de água, em bolas de sabão, em vidro, num CD ou em manchas de óleo, provoca o aparecimento de um conjunto variado de cores. Estas cores aparecem quando a luz do Sol atravessa meios transparentes e, por isso, refracta-se.

Foi um cientista já teu conhecido, o físico Isaac Newton, que analisou este fenómeno, observando que um pequeno feixe de luz solar (luz branca), ao atravessar um prisma óptico de vidro (meio transparente limitado por duas faces planas e oblíquas), emergia deste como uma banda colorida com cores iguais e ordenadas como num arco-íris.



Fig. 4.73 Quando iluminados, alguns objectos mostram as cores do arco-íris.

A banda colorida que se obtém designa-se por espectro da luz visível e é constituída pelas seguintes cores, que surgem sempre pela mesma ordem: Vermelho, Alaranjado, Amarelo, Verde, Azul, Anil e Violeta.

O processo de separação da luz, nas diferentes cores que a constituem, denomina-se **dispersão da luz**.

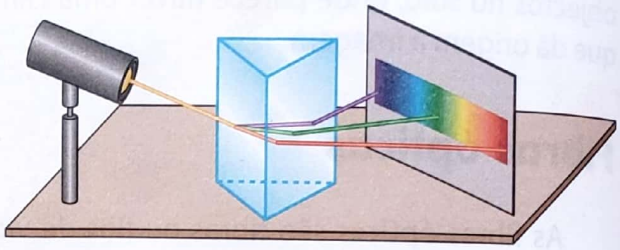


Fig. 4.74 Refracção da luz branca através de um prisma

Tal como o Sol, qualquer estrela ou corpo incandescente emite luz que pode ser decomposta no respectivo espectro luminoso.

O arco-íris não é mais do que o espectro solar visível nas nuvens. A luz solar, ao atravessar as gotas de água das nuvens, refracta-se, decompondo-se nas diferentes luzes que a constituem.

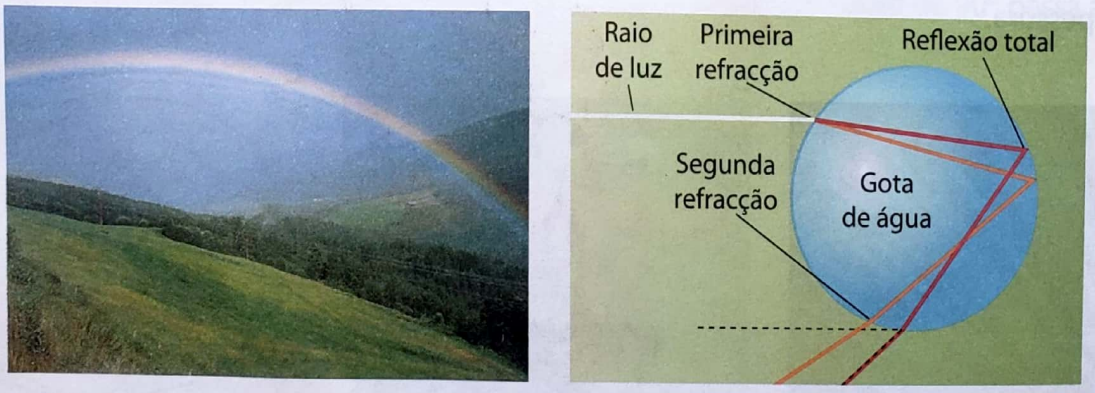


Fig. 4.75 Arco-íris e esquema representativo da refracção e da reflexão total da luz numa gota de água

Assim se verifica que a luz branca não é uma luz simples, mas sim uma luz policromática, isto é, constituída por várias cores, cada uma correspondente a uma radiação simples, monocromática, com a sua frequência particular.

Digitalizado com CamScanner

Lentes delgadas

A refracção é o fenómeno que determina o funcionamento das lentes, mas este vai depender do tipo de lente.

Comecemos, então, por identificar os diferentes tipos de lentes.

No nosso quotidiano existem diversas lentes como, por exemplo, as lentes dos óculos que corrigem os defeitos de visão, as lentes dos telescópios que possibilitam observar o espaço, as lentes dos microscópios que permitem observar seres muito pequenos, as lentes das máquinas fotográficas, etc.



Fig. 4.76 Lentes usadas em instrumentos ópticos

As principais lentes usadas pelo Homem são, desde sempre, os seus próprios olhos.

As lentes são fabricadas num material transparente, em geral, vidro ou plástico e são limitadas por duas faces polidas curvas ou uma face polida curva e outra plana.

Dependendo da forma das suas faces, as lentes classificam-se em dois tipos:

- Lentes convexas, convergentes ou de bordos delgados – são mais espessas no centro do que nos bordos.

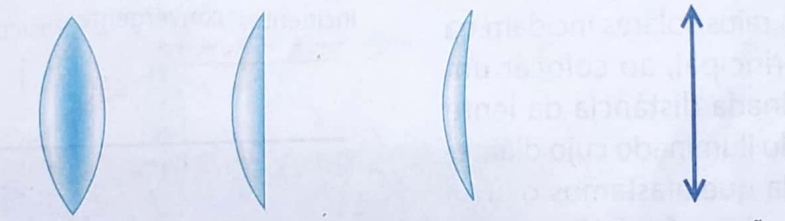


Fig. 4.77 Lentes convergentes

- Lentes côncavas, divergentes ou de bordos espessos – são mais finas no centro do que nos bordos.

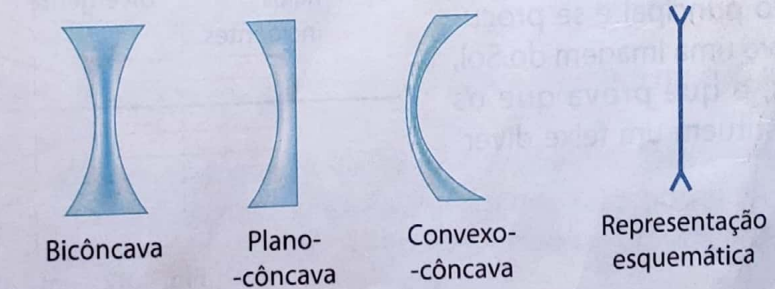


Fig. 4.78 Lentes divergentes

Digitalizado com CamScanner

Como exemplos de lentes convergentes temos o cristalino dos nossos olhos, as lupas, as lentes dos binóculos, algumas lentes usadas nos óculos, etc.

As lentes divergentes são, fundamentalmente, usadas nos óculos para correcção da miopia, ou associadas a lentes convergentes em determinados aparelhos ópticos, como o caso dos telescópios e microscópios.

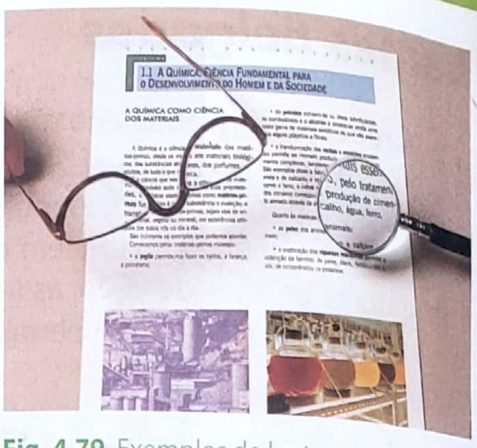


Fig. 4.79 Exemplos de lentes convergentes

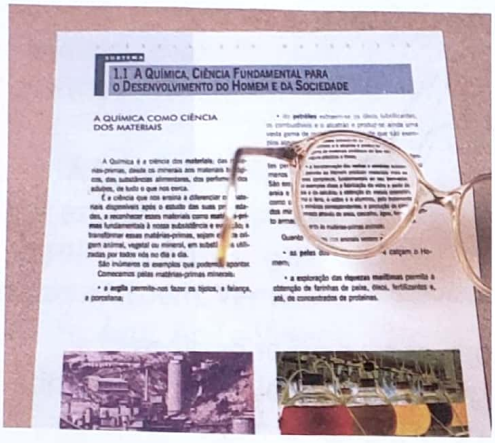






Fig. 4.80 Exemplos de lentes divergentes

Voltando uma lente convergente para o Sol, de modo que os raios solares incidam na direcção do eixo principal, ao colocar um alvo a uma determinada distância da lente obteremos um círculo iluminado cujo diâmetro diminui à medida que afastamos o alvo, o que prova que os raios refractados constituem um feixe convergente.

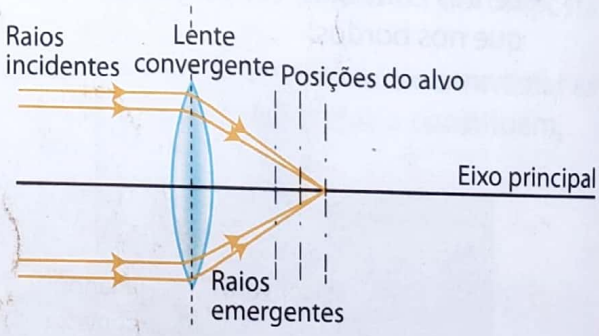


Fig. 4.81 Lente convergente

Voltando para o Sol uma lente divergente, de forma que os raios solares incidam paralelamente ao eixo principal e se procurarmos captar num alvo uma imagem do Sol, não conseguiremos, o que prova que os raios refractados constituem um feixe divergente.

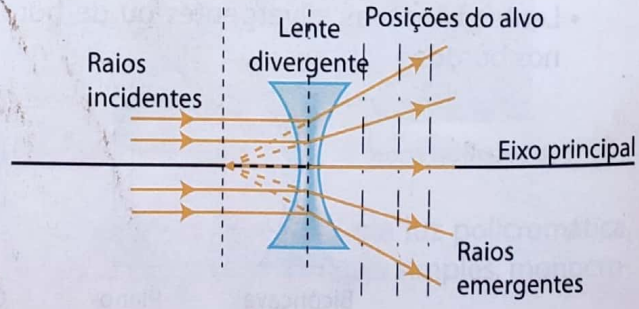
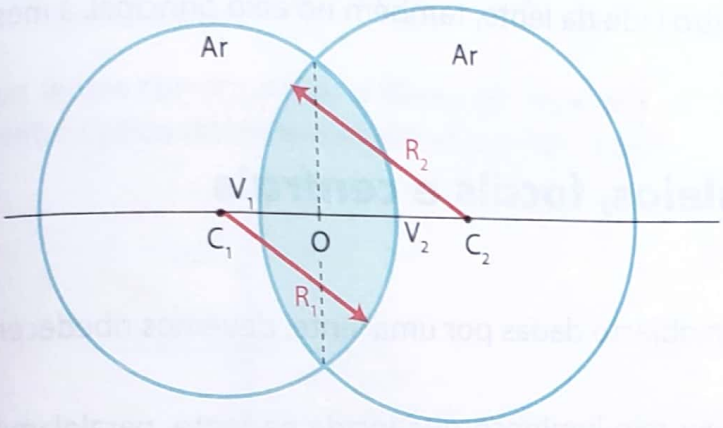


Fig. 4.82 Lente divergente

Digitalizado com CamScanner

Elementos de uma lente

- **Centro óptico (O)**: é o ponto equidistante dos bordos da lente.
- **Centros de curvatura (C_1 e C_2)**: são os pontos C_1 e C_2, centros das superfícies esféricas que contêm as faces da lente.
- **Eixo principal**: é a recta que une os centros de curvatura C_1 e C_2 e passa pelo centro óptico (O).
- **Eixo secundário**: qualquer recta que passa pelo centro óptico, excepto pelos centros de curvatura.
- **Focos (F)**: são os pontos do eixo principal onde convergem os raios refractados depois de incidirem paralelamente ao eixo principal. Cada foco divide ao meio o segmento CO, isto é, OF = OC.



C_1, C_2 – Centros de curvatura da lente
R_1, R_2 – Raios de curvatura
V_1, V_2 – Vértices das faces
O – Centro óptico da lente

Fig. 4.83 Elementos geométricos de uma lente

Virando-se para o Sol uma das faces da lente, os raios solares incidirão paralelamente ao seu eixo principal.

Se a **lente for convergente**, fará os raios luminosos, que nela incidem paralelamente, refractarem-se de modo a cruzarem-se todos num ponto do eixo principal, ao qual se deu o nome de **foco-imagem**. É um foco real (F) pois encontra-se no cruzamento dos raios refractados e pode obter-se num alvo.

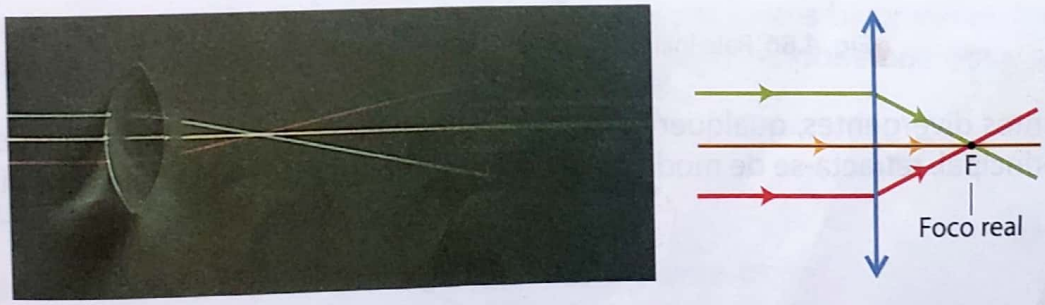


Fig. 4.84 Foco real de uma lente convergente

O **foco-objecto** fica situado do outro lado da lente, também no eixo principal, à mesma distância do centro óptico.

Se a **lente for divergente**, fará os raios luminosos, que nela incidem paralelamente, refractarem-se de modo a que os seus prolongamentos se cruzem num ponto do eixo principal, ao qual se deu o nome de **foco-imagem**. Os raios refractados parecem divergir de um ponto localizado no eixo principal, mas do lado dos raios incidentes.

Digitalizado com CamScanner

É um foco virtual (F') pois encontra-se no cruzamento dos prolongamentos dos raios refractados e não se pode obter num alvo.

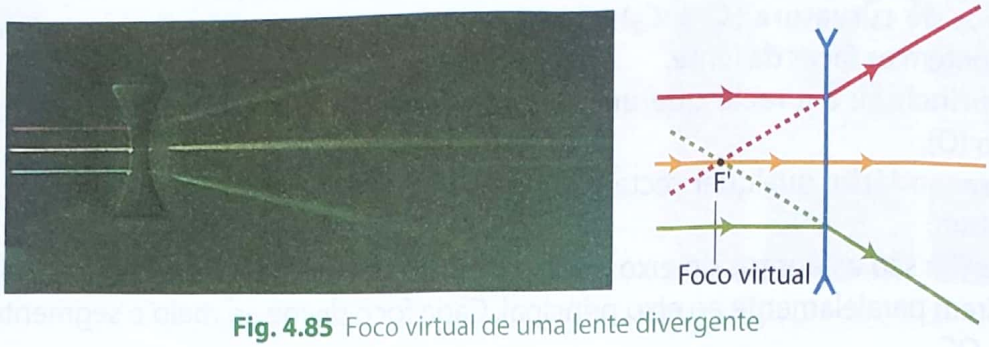


Fig. 4.85 Foco virtual de uma lente divergente

O **foco-objecto** fica situado do outro lado da lente, também no eixo principal, à mesma distância do centro óptico.

Refracção de raios paralelos, focais e centrais numa lente biconvexa

Para construirmos as imagens dum objecto dadas por uma lente, devemos obedecer a duas das seguintes regras de construção:

- Nas lentes convergentes, qualquer raio luminoso que incida na lente, paralelamente ao seu eixo principal, refracta-se passando pelo foco (F) da lente.

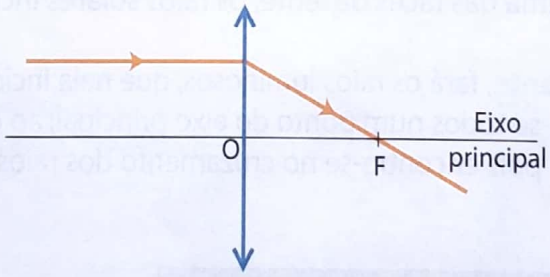


Fig. 4.86 Raio incidente paralelo numa lente convergente

- Nas lentes divergentes, qualquer raio luminoso que incida na lente, paralelamente ao seu eixo principal, refracta-se de modo que o seu prolongamento passa pelo foco virtual (F').

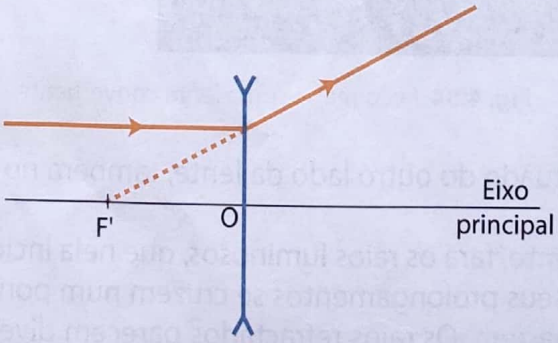


Fig. 4.87 Raio incidente paralelo numa lente divergente

Digitalizado com CamScanner

- Nas lentes convergentes e divergentes, qualquer raio luminoso incidente que passe pelo foco (em direcção ao foco) da lente refracta-se paralelamente ao eixo principal.

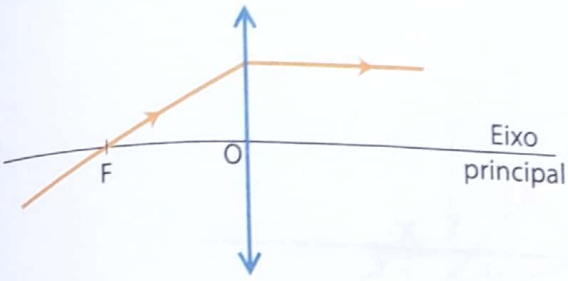


Fig. 4.88 Raio incidente focal numa lente convergente

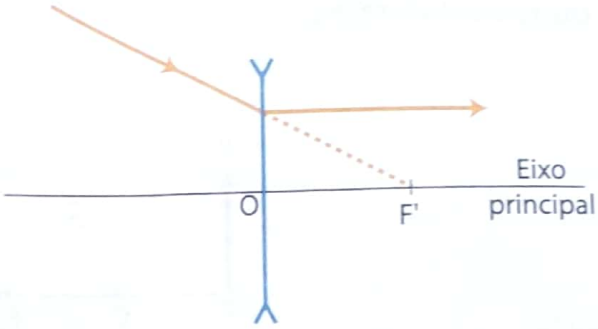


Fig. 4.89 Raio incidente focal numa lente divergente

- Nas lentes convergentes e divergentes, qualquer raio luminoso incidente que passe pelo centro óptico da lente não sofre qualquer desvio.

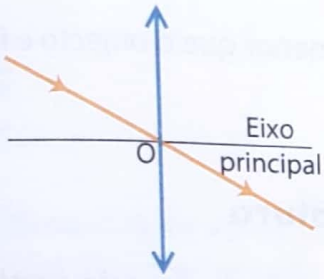


Fig. 4.90 Raio incidente central numa lente convergente

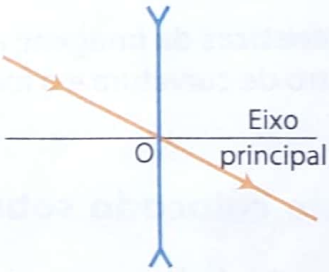


Fig. 4.91 Raio incidente central numa lente divergente.

Construção geométrica de imagens em lentes biconvexas

Vamos, agora, proceder à construção das imagens em lentes biconvexas. Neste tipo de lentes, dependendo da posição do objecto em frente da lente, podemos obter as seguintes imagens:

1. Objecto colocado no infinito

Quando um objecto é colocado muito afastado da lente biconvexa, como, por exemplo, o Sol, os raios luminosos vindos do objecto incidem paralelamente ao eixo principal e refractam-se, cruzando-se no foco da lente.

Construção da imagem: a imagem pode ser obtida através de dois raios paralelos.

Características da imagem: a imagem é real, pontual e fica localizada no foco.

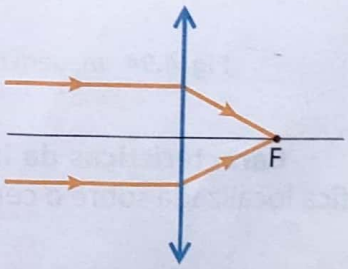


Fig. 4.92 Imagem numa lente biconvexa de um objecto colocado no infinito.

Digitalizado com CamScanner

2. Objecto colocado antes do centro de curvatura

Construção da imagem: a imagem pode ser obtida através de um raio paralelo, raio 1, e outro central, raio 2.

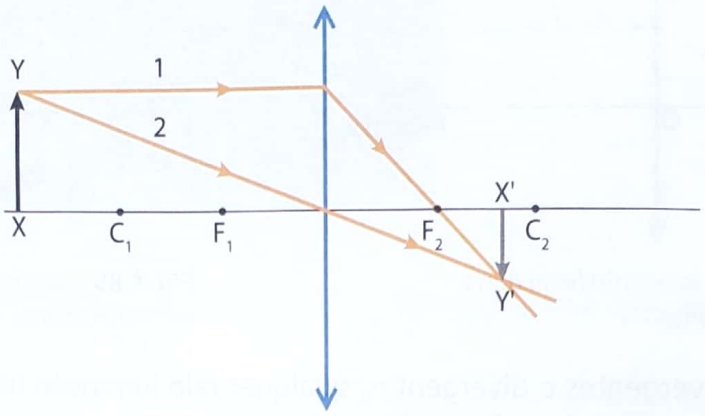


Fig. 4.93 Imagem numa lente biconvexa de um objecto colocado antes do centro de curvatura.

Características da imagem: a imagem é real, invertida, menor que o objecto e fica localizada entre o centro de curvatura e o foco.

3. Objecto colocado sobre o centro de curvatura

Construção da imagem: a imagem pode ser obtida através de um raio paralelo, raio 1, e outro central, raio 2.

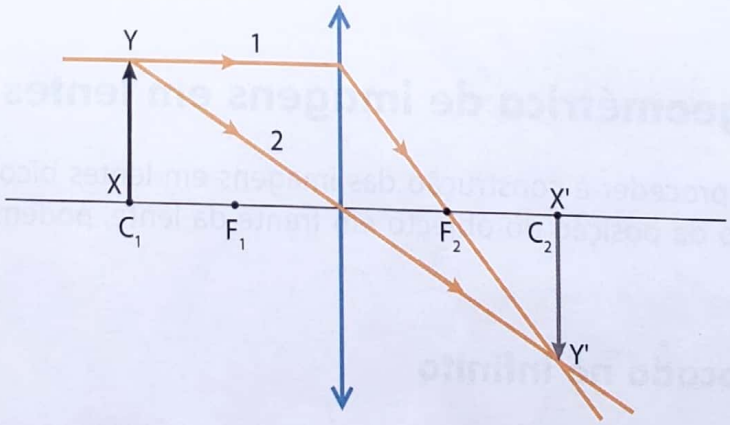


Fig. 4.94 Imagem numa lente biconvexa de um objecto colocado sobre o centro de curvatura.

Características da imagem: a imagem é real, invertida, do mesmo tamanho do objecto e fica localizada sobre o centro de curvatura.

Digitalizado com CamScanner

4. Objecto colocado entre o centro de curvatura e o foco

Construção da imagem: a imagem pode ser obtida através de um raio paralelo, raio 1, e outro central, raio 2.

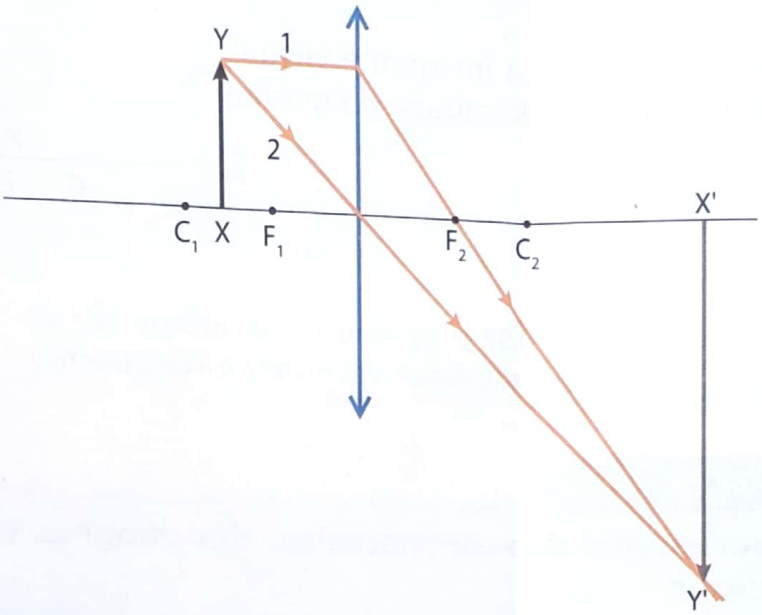


Fig. 4.95 Imagem numa lente biconvexa de um objecto colocado entre o centro de curvatura e o foco.

Características da imagem: a imagem é real, invertida, maior que o objecto e fica localizada para além do centro de curvatura.

5. Objecto colocado sobre o foco

Construção da imagem: a imagem pode ser obtida através de um raio paralelo, raio 1, e outro central, raio 2.

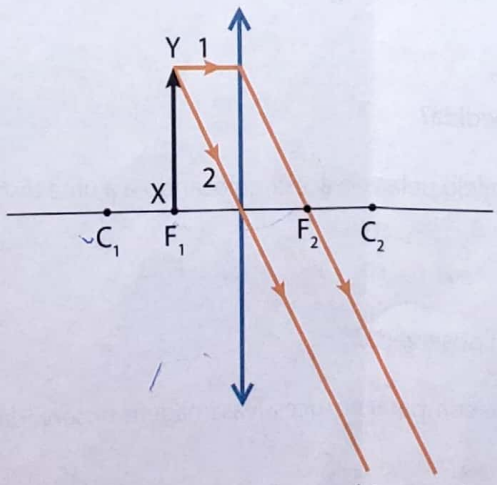


Fig. 4.96 Imagem numa lente biconvexa de um objecto colocado sobre o foco.

Características da imagem: a imagem não pode ser definida, é uma imagem imprópria, pois os raios refractados são paralelos entre si.

Digitalizado com CamScanner

6. Objecto colocado entre o foco e o centro óptico

Construção da imagem: a imagem pode ser obtida através de um raio paralelo, raio 1, e outro central, raio 2.

Características da imagem: a imagem é virtual, direita, maior que o objecto e fica localizada do mesmo lado do objecto.

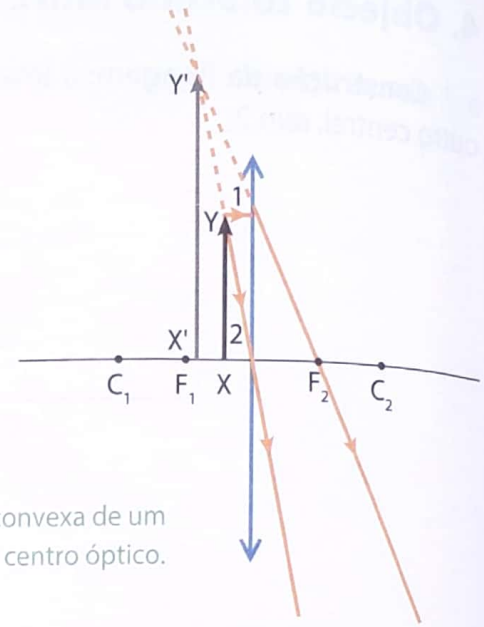


Fig. 4.97 Imagem numa lente biconvexa de um objecto colocado entre o foco e o centro óptico.

Experiência

Observação experimental das características das imagens obtidas através de lentes biconvexas

Material

- Lente convergente e respectivo suporte
- Alvo branco num suporte (ou parede)
- Vela acesa
- Lâmpada de feixe paralelo
- Régua

Procedimento

Esta experiência deve ser realizada numa sala escurecida.

1. Fazer incidir o feixe de luz paralelo na lente convergente.
2. Procurar obter, no alvo, o ponto onde todos os raios luminosos convergem.
3. Com a régua, medir a distância entre o alvo e a lente.

Responde

- Que nome dás a esse ponto?
- Que nome dás à distância medida?

4. Substituir o feixe de luz paralelo pela vela acesa, colocando-a a uma distância inferior à distância focal.
5. Registar as observações.

Responde

- Como caracterizas a imagem observada?

6. Ir afastando a vela da lente e comparar as sucessivas imagens observadas.

Responde

- Como caracterizas a imagem observada em cada situação?
- Em que posição deve estar a vela, relativamente à lente, para obteres uma imagem real, invertida e de tamanho igual ao objecto?

Digitalizado com CamScanner

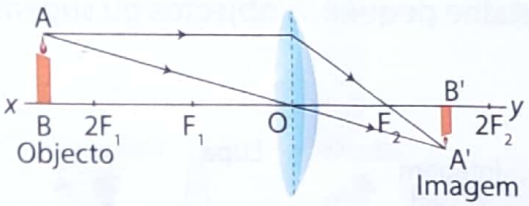
Exercícios resolvidos

1. Um objecto com 1 cm de altura foi colocado a 6 cm de uma lente biconvexa com 2 cm de distância focal. Determina o trajecto dos raios luminosos através da lente, de modo a obteres a imagem pretendida. Caracteriza a imagem obtida.

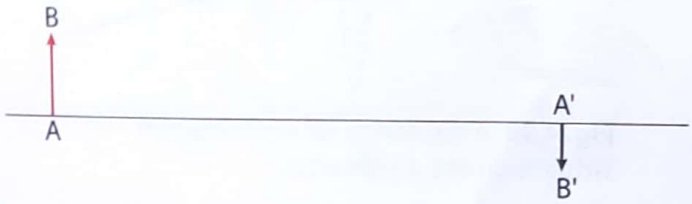
Resolução

Para construir a imagem vamos usar dois dos três raios notáveis.

Imagem: real, invertida, menor que o objecto e situada entre o centro de curvatura (2F) e o foco (F).



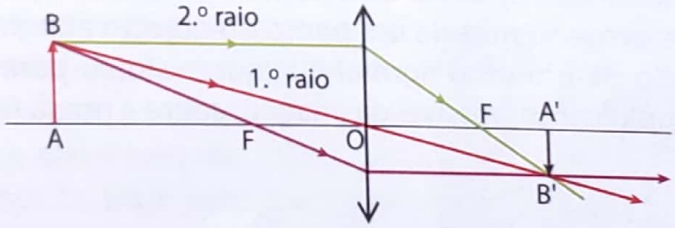
2. Dada a posição do objecto (AB) e da sua imagem (A'B'), fornecida por uma lente, determina:
   a) O tipo de lente.
   b) A posição da lente.
   c) Todos os outros elementos da lente.



Resolução

a) Lente convergente (a imagem é invertida).

b) e c) Observa a construção onde se indica a ordem de traçado dos raios luminosos.



Instrumentos ópticos

O olho humano normal tem a capacidade de perceber e focalizar um certo campo de visão, dentro do qual se inserem vários objectos. Porém, para focalizarmos um objecto próximo, tudo aquilo que está distante perde a nitidez. No nosso campo de visão existem objectos que se encontram a diferentes distâncias dos nossos olhos. Se alguns objectos estiverem muito afastados, como a Lua e as estrelas, poderemos focalizá-los, mas não perceberemos os seus pormenores. Por outro lado, se o objecto estiver próximo, mas for muito pequeno, como um insecto, muitos detalhes serão perdidos. A associação conveniente de lentes a um olho de visão normal (ou corrigida) pode permitir que vejamos detalhes que a olho nu não seriam possíveis. Para que um olho normal possa observar tais detalhes é necessário ampliar a imagem do objecto, o que pode ser conseguido através de determinados instrumentos ópticos, como a **lupa**, o **microscópio**, o **retroprojector**, os **projectores de filmes** e ***slides***, a **luneta**, o **telescópio**, o **binóculo**, a **máquina fotográfica**, etc.

Digitalizado com CamScanner

Lupa

Foi criada por Roger Bacon em 1250, por meio da sua primeira invenção: os óculos.

É um instrumento óptico constituído por uma lente biconvexa (convergente) com capacidade para criar imagens virtuais e reais ampliadas. É utilizada para observar com mais detalhe pequenos objectos ou superfícies.



Fig. 4.98 Uma lupa é uma lente convergente.

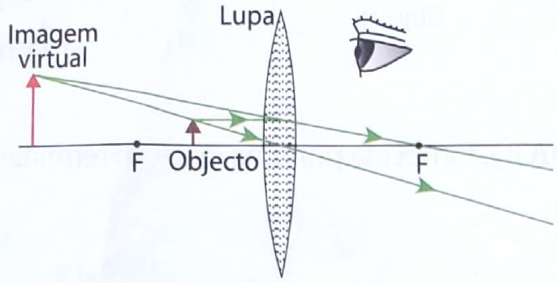


Fig. 4.99 A lupa conjuga uma imagem virtual e direita do objecto.

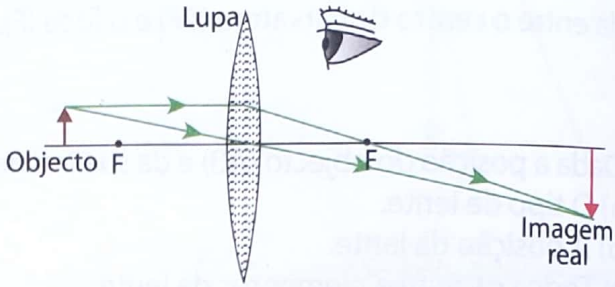


Fig. 4.100 A lupa conjuga uma imagem real e invertida do objecto.

Portanto, o uso de uma lente convergente (tal como a lupa) na frente do olho, além de poder amplificar o tamanho das coisas que vemos, possui uma outra consequência desejável – a de exigir uma menor acomodação visual. No caso limite, em que o objecto é colocado sobre o plano focal da lupa, os raios provenientes de um ponto do objecto atingirão o nosso olho como raios paralelos, não exigindo de um olho normal qualquer esforço para acomodação visual e determinando a máxima amplificação possível da imagem sobre a nossa retina.

Luneta ou telescópio refractor

São instrumentos que possuem lentes ou espelhos curvos e são capazes de ampliar a imagem de algo que está longe.

A luneta de Galileu Galilei é composta por uma objectiva com um lente convergente e pela ocular com uma lente divergente. Isso pemite ver os objectos ampliados. Trata-se de um telescópio refractor e a sua constituição apresenta-se na figura 4.101.

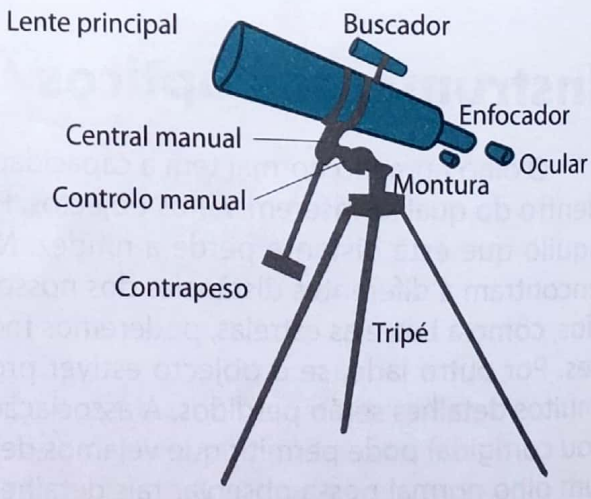


Fig. 4.101 Luneta

Digitalizado com CamScanner

As **lunetas astronómicas** são dispositivos ópticos constituídos por duas lentes convergentes, simples ou compostas, montadas sobre um mesmo eixo, a **objectiva** e a **ocular**.

A lente objectiva de grande distância focal – que chega à ordem de metros – conjuga uma imagem real (I_1) de um objecto situado no infinito. A Lua, por exemplo, cuja imagem invertida será ainda mais ampliada pela ocular, como mostra a figura 4.102.

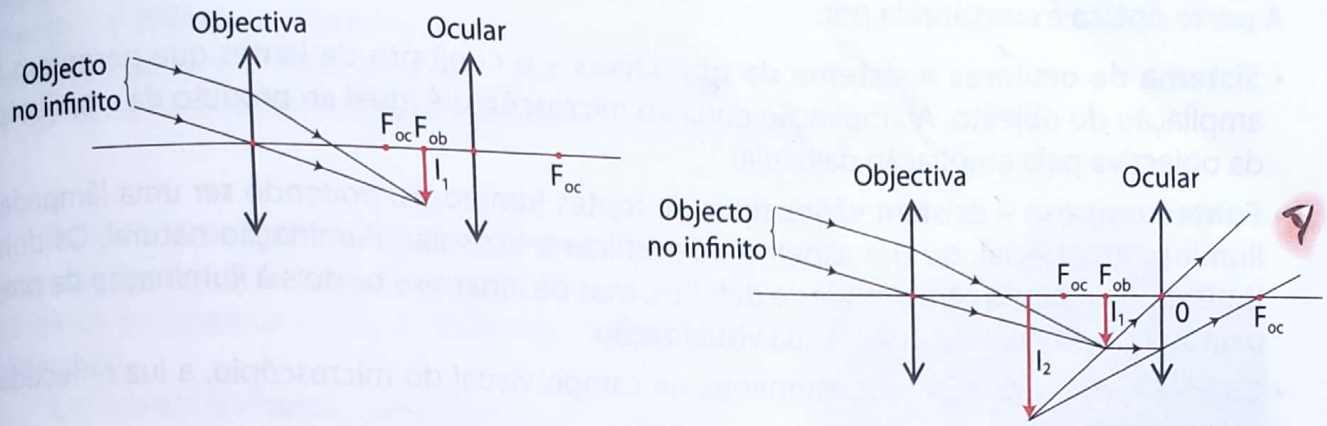


Fig. 4.102 Esquema da formação de uma imagem numa luneta astronómica

Microscópio óptico

É constituído por duas partes – uma parte mecânica e uma parte óptica. Cada parte engloba uma série de componentes constituintes do microscópio (figura 4.103).

A **parte mecânica** serve para dar estabilidade e suportar a parte óptica. Ela é constituída por:

- **Pé ou base** – suporta o microscópio, assegurando a sua estabilidade.
- **Braço ou coluna** – peça fixa à base, na qual estão aplicadas todas as outras partes constituintes do microscópio.
- **Tubo ou canhão** – cilindro que suporta os sistemas de lentes, localizando-se na extremidade superior, a ocular e na inferior, o revólver com objectivas.
- **Platina** – peça circular, quadrada ou rectangular, paralela à base, onde se coloca a preparação a observar, possuindo no centro um orifício circular ou alongado que possibilita a passagem dos raios luminosos concentrados pelo condensador.
- **Parafuso macrométrico** – engrenagem que suporta o tubo e permite a sua deslocação da platina. É indispensável para fazer a focagem.

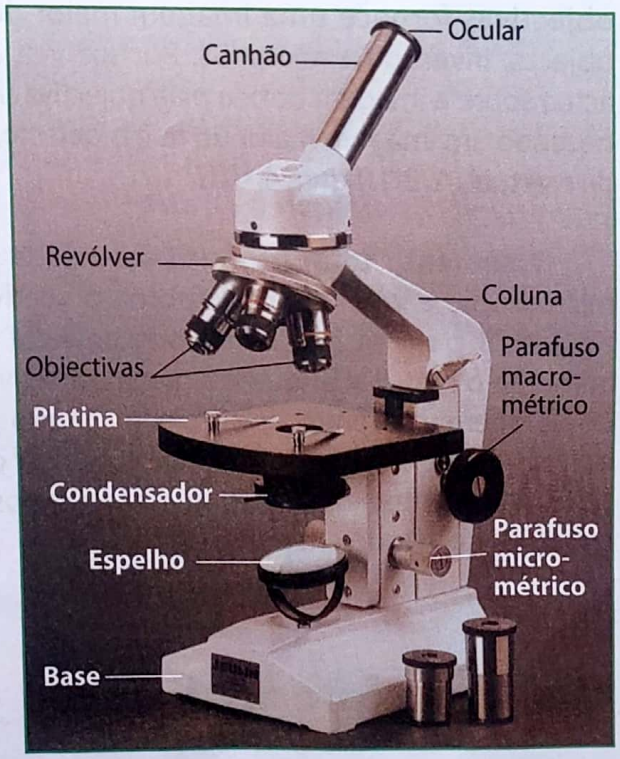


Fig. 4.103 Componentes do microscópio

Digitalizado com CamScanner

- **Parafuso micrométrico** – imprime ao tubo ou à platina movimentos de amplitude muito reduzida, completando a focagem. Permite explorar a profundidade de campo do microscópio.
- **Revólver** – disco adaptado à zona inferior do tubo, que suporta duas a quatro objectivas de diferentes ampliações: por rotação é possível trocar rápida e comodamente de objectiva.

A **parte óptica** é constituída por:

- **Sistema de oculares e sistema de objectivas** – o conjunto de lentes que permitem a ampliação do objecto. A ampliação dada ao microscópio é igual ao produto da ampliação da objectiva pela ampliação da ocular.
- **Fonte luminosa** – existem vários tipos de fontes luminosas, podendo ser uma lâmpada, iluminação artificial, ou um espelho que reflicta a luz solar, iluminação natural. Os dois tipos de iluminação têm virtudes e defeitos, mas destinam-se os dois à iluminação da preparação, possibilitando assim a sua visualização.
- **Condensador** – distribui regularmente, no campo visual do microscópio, a luz reflectida pelo espelho.
- **Diafragma** – regula a intensidade luminosa no campo visual do microscópio.

A **imagem** fornecida pelo microscópio óptico composto é ampliada, invertida e virtual. O sistema de objectivas fornece uma imagem maior do que o objecto, invertida e real (A'B'). Por sua vez, a ocular actua sobre a imagem obtida pela objectiva (A'B') fornecendo um imagem maior do que o objecto, invertida e virtual (A"B") (figura 4.104).

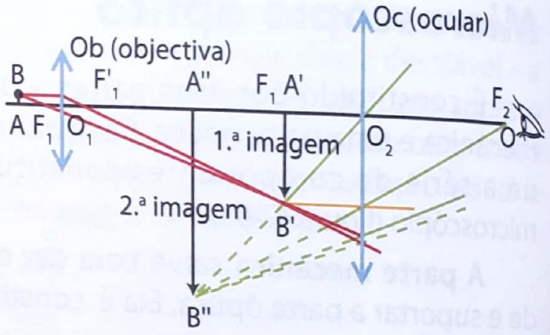


Fig. 4.104 Esquema da formação de uma imagem num microscópio

O **aumento total de ampliação** dada por um microscópio é igual ao aumento da objectiva multiplicado pelo aumento da ocular. Esta última aumenta o material enquanto que a objectiva aumenta o poder de resolução que é a capacidade de diferenciar entre dois objectos muito próximos. A visualização das imagens nas lâminas, observadas ao microscópio óptico, pode ser de diversas colorações, apresentadas pelos diversos tipos de corantes existentes que são usados, cada qual oportunamente, afim de evidenciar a estrutura de estudo em questão.

Máquina fotográfica

Numa **câmara escura**, as imagens dos objectos exteriores são poucos iluminadas, devido ao pequeno diâmetro do orifício, mas se alargarmos este de um modo que entre mais luz na câmara, as imagens deixam de ser nítidas.

Podemos conciliar a quantidade de claridade e nitidez das imagens alargando o orifício da câmara escura e adaptando-lhe uma **lente convergente**, chamada **objectiva**.

Digitalizado com CamScanner

A objectiva dá, de um objecto exterior situado além da sua dupla distância focal, uma imagem **real, invertida e menor que o objecto**, a qual é recebida num alvo sensível à luz (chapa ou rolo de películas). A posição destas imagens varia, como sabemos, com a distância a que se encontra o objecto. Quando este está muito afastado, praticamente no infinito, a imagem forma-se no plano focal da objectiva. Porém, à medida que o objecto se aproxima, a imagem vai-se afastando da lente.

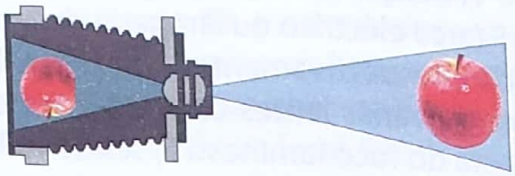


Fig. 4.105 Esquema da formação de uma imagem numa máquina fotográfica

Por isso, para que o alvo possa receber a imagem, qualquer que seja a posição do objecto, torna-se necessário variar a distância do alvo à objectiva.

Em muitos modelos, consegue-se esta mobilidade alongando ou encurtando um fole de cartão, coberto de tela ou de couro, que constitui as paredes laterais da câmara. Noutros modelos, porém, as paredes da câmara são de metal, mas a objectiva pode deslocar-se segundo o seu eixo.



Fig. 4.106 Nas máquinas fotográficas mais recentes, a objectiva desloca-se segundo o seu eixo.

A objectiva está munida de um **diafragma** de abertura variável que permite modificar a abertura de entrada da luz e o **obturador** que permite regular a duração da exposição à luz.

As operações fotográficas baseiam-se na propriedade que possuem certas substâncias de serem alteradas por acção da luz e de reagentes químicos apropriados.

O cloreto de prata, por exemplo, enegrece quando é exposto à luz durante um tempo mais ou menos longo. Nas mesmas condições, o brometo de prata não apresenta alterações aparentes, mas torna-se susceptível de se alterar rapidamente se, depois de exposto à luz, for submetido à acção de certos líquidos chamados reveladores. Desta alteração resulta uma camada negra de prata metálica.

As chapas ou rolos utilizados em fotografia têm uma das faces coberta por uma camada sensível, constituída por gelatina impregnada de brometo de prata. É nesta camada que se forma a imagem real do objecto fotografado.

Máquina de projecção

Há um brinquedo, denominado lanterna mágica, com o qual as crianças se divertem projectando sobre um alvo, uma parede, por exemplo, imagens ampliadas de figuras recreativas.

Estas figuras estão geralmente pintadas ou fotografadas sobre uma lâmina de vidro ou em celulóide, às quais se dá o nome de **diapositivos**.

Nos gabinetes das escolas existem também instrumentos denominados **máquinas de projecção** que se destinam a projectar imagens muito ampliadas.

Digitalizado com CamScanner

A **máquina de projecção** (figura 4.107) consta essencialmente de um foco luminoso intenso F (arco eléctrico ou lâmpada de incandescência) e dois sistemas convergentes, C e O, denominados, respectivamente, **condensador** e **projector**. O sistema condensador C é formado por uma ou várias lentes convergentes e destina-se a fazer convergir sobre o dispositivo AB a luz directa do foco luminoso F, sendo reflectida pelo espelho côncavo E (o reflector) a fim de lhe dar uma intensa iluminação.

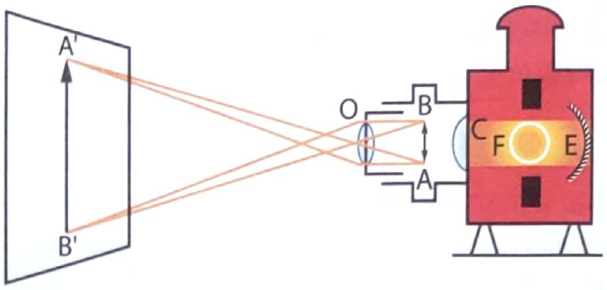


Fig. 4.107 Esquema da formação de uma imagem numa máquina de projecção

O sistema projector O, também chamado **objectiva** pela sua analogia com a objectiva fotográfica, serve para projectar sobre um alvo uma imagem **real**, **invertida** e **muito ampliada** do diapositivo. Como sabemos, obtém-se uma imagem nestas condições quando o objecto está colocado entre o foco e a dupla distância do sistema focal convergente projector.

Para que imagens se formem no alvo com nitidez, é preciso focar, isto é, regular convenientemente a distância do dispositivo ao projector. Esta operação realiza-se deslocando o sistema projector, com o auxílio de um botão que comanda uma cremalheira (associação de uma haste dentada com uma roda também dentada), para que as figuras projectadas no alvo apareçam direitas, e o diapositivo AB coloca-se sempre numa posição invertida.

A máquina de projecção é muito utilizada para ilustrar lições e conferências, permitindo mostrar documentários tais como fotografias, esquemas, etc., a um grande número de pessoas.

Olho humano

O **olho** é o órgão responsável pela visão. O globo ocular fica dentro de uma cavidade óssea e protegido pelas pálpebras. Possui no seu exterior seis músculos que são responsáveis pelos movimentos oculares, e também três camadas com a função de visão, nutrição e protecção.



Fig. 4.108 O olho é o orgão responsável pela visão.

No olho humano, a camada externa é constituída pela **córnea** e pela **esclerótica** e serve para a protecção. Os raios luminosos provenientes do exterior começam por atravessar a **córnea**, órgão transparente de curvatura variável, passando em seguida através da **pupila**, que é rodeada pela **íris** (a zona colorida dos olhos), e cujo diâmetro pode variar,

Digitalizado com CamScanner

conforme a intensidade de luz. A íris controla a quantidade de luz que entra no interior do olho através de um orifício escuro, a pupila. Assim, a pupila fica menor à luz do dia, para reduzir a entrada de luz e fica maior ao escurecer. Depois de passarem a pupila, os raios luminosos incidem a seguir no **cristalino**. O cristalino é uma espécie de lente convergente que, por ser constituído por uma substância não rígida, pode alterar a sua curvatura modificando a sua distância focal. São os **músculos ciliares**, ligados ao cristalino, que lhe possibilitam mudar rapidamente de forma.

Os raios luminosos passam, depois, através de um líquido gelatinoso, incolor, o **humor vítreo**,

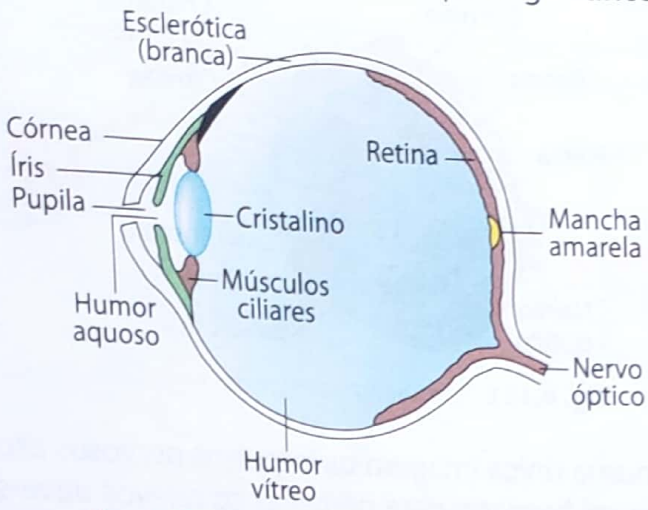


Fig. 4.109 Constituição do olho humano

e vão projectar-se sobre uma pequena região da **retina**, designada **mancha amarela**. O humor vítreo preenche todo o espaço interno do globo ocular que fica entre a córnea e o cristalino. Tudo isso funciona para manter a forma esférica do olho.

A **retina** é uma membrana que acompanha internamente todo o globo ocular e na parede posterior, possui uma zona muito sensível à luz, chamada de mancha amarela. Aqui existe um conjunto de células nervosas que, para além de registar as imagens recebidas, envia-as ao cérebro através do **nervo óptico**, para serem descodificadas.

O olho altera a forma do cristalino, variando a sua distância focal, para que na retina se forme a imagem nítida do objecto.

Esta variação da curvatura do cristalino, denominada **acomodação do cristalino**, permite-lhe ajustar-se à distância a que os objectos se encontram, de modo a que a visão dos mesmos seja nítida.

A capacidade visual varia de pessoa para pessoa, havendo uma distância mínima de visão perfeita, ou nítida, chamada de **ponto próximo**, e uma distância máxima de visão perfeita chamada de **ponto longínquo**. É a acomodação do cristalino que permite a visão perfeita entre estas duas distâncias. Na figura 4.110, que representa a acomodação do cristalino, repara na forma do cristalino bem como na direcção dos raios luminosos nas duas posições.

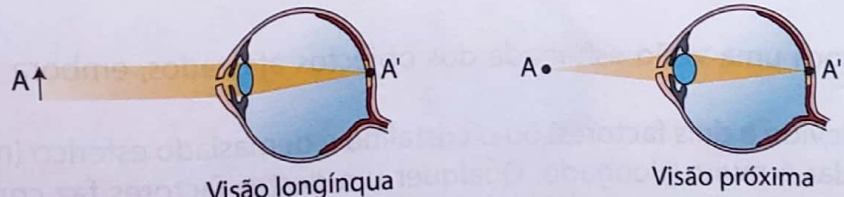


Fig. 4.110 Representação esquemática da acomodação do cristalino

Digitalizado com CamScanner

Formação de imagens no olho humano

No olho, a luz atravessa a córnea, o humor vítreo e o cristalino e dirige-se para a retina que funciona como o filme fotográfico – a **imagem** formada na retina é **invertida**. O nervo óptico transmite o impulso nervoso provocado pelos raios luminosos ao cérebro, que o interpreta e nos permite ver os objectos nas posições em que realmente se encontram.

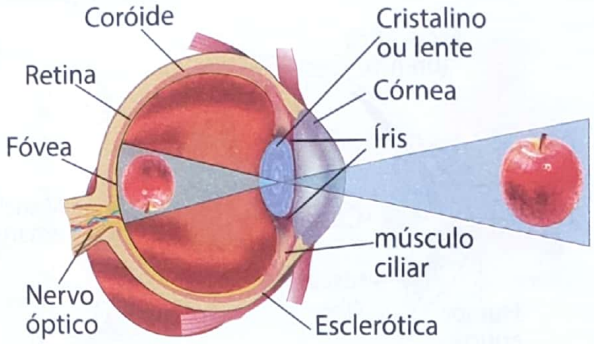


Fig. 4.111 Formação da imagem no olho humano

O **nervo óptico** reúne numa única imagem os impulsos nervosos provenientes dos dois olhos. A capacidade do aparelho visual humano para perceber os relevos deve-se ao facto de serem diferentes as imagens que cada olho envia ao cérebro. Com apenas um dos olhos, temos noção de apenas duas dimensões dos objectos: largura e altura. Com os dois olhos, passamos a ter noção da terceira dimensão: a profundidade.

Deficiências do olho humano

Infelizmente, o sistema de visão de muitas pessoas apresenta anomalias. Estas podem ser de diversos tipos e, por isso, as lentes e os óculos que ajudam a corrigi-las ou a diminuir os seus efeitos não são todos iguais.

Para que se vejam nitidamente os objectos, é preciso:

- por um lado, que o cristalino consiga a acomodação necessária para que a imagem se projecte na mancha amarela da retina;
- por outro lado, que a forma do globo ocular seja normal, isto é, que a distância do cristalino à retina seja adequada.

Os defeitos da visão mais correntes são a **miopia**, a **hipermetropia** e a **presbitia**.

Miopia

A **miopia** provoca uma visão esfumada dos objectos afastados, embora se vejam bem os objectos próximos.

Isto acontece devido a dois factores: ou o cristalino é demasiado esférico (muito convergente), ou o globo ocular é muito alongado. Qualquer um destes factores faz com que a imagem dos objectos se forme à frente da mancha amarela (figura 4.112).

Digitalizado com CamScanner

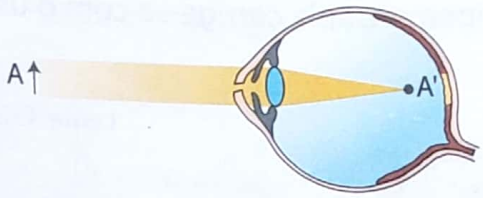


Fig.4.112 Miopia: a imagem do objecto forma-se à frente da retina.

A miopia corrige-se com lentes divergentes que, ao fazerem divergir os raios luminosos antes destes penetrarem no olho, compensam a convergência do cristalino (figura 4.113).

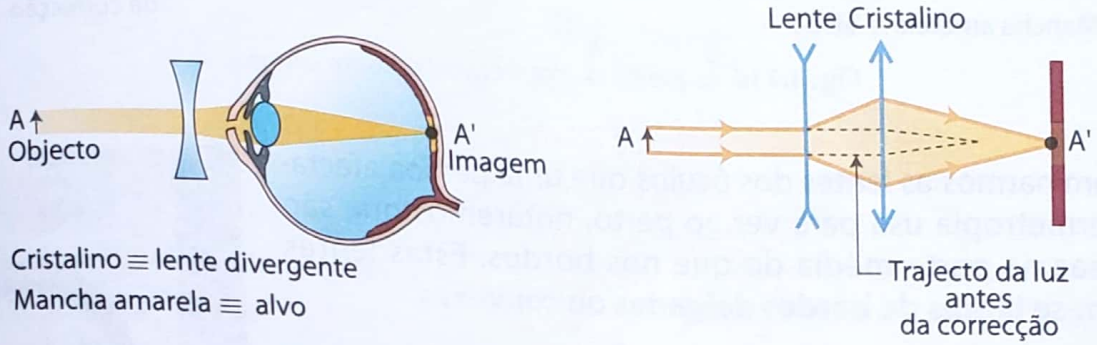


Fig. 4.113 Esquema da correcção da miopia

Convivemos diariamente com pessoas que usam óculos. Os vidros dos óculos são lentes que servem para corrigir os defeitos de visão.

Se examinarmos as lentes dos óculos de uma pessoa afectada de miopia, podemos verificar que são mais grossas nos bordos do que na parte média. Estas lentes chamam-se **lentes de bordos espessos** ou **côncavas**.

Observando um objecto, através de uma destas lentes, veremos uma imagem direita e menor do que o objecto (figura 4.114).

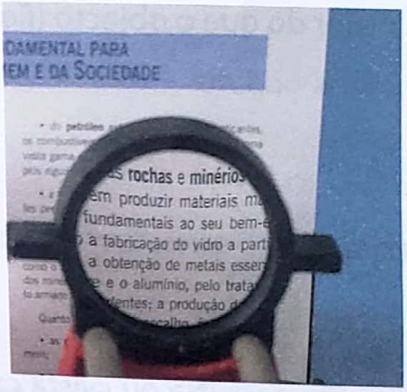


Fig. 4.114 Lentes dos óculos de uma pessoa com miopia

Hipermetropia

A **hipermetropia** é o defeito de visão oposto à miopia; vêem-se mal os objectos próximos mas vêem-se bem os objectos afastados.

Neste caso, o olho é pouco convergente, ou porque o cristalino é pouco convergente ou porque o globo ocular é pouco alongado. Qualquer destes factores faz com que a imagem dos objectos distantes se forme atrás da retina (figura 4.115).

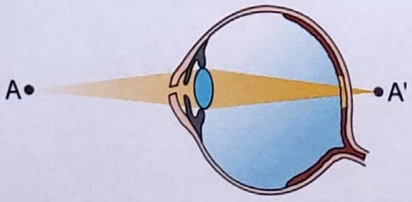


Fig. 4.115 Hipermetropia: a imagem do objecto forma-se atrás da retina.

Digitalizado com CamScanner

Ao contrário da miopia, a hipermetropia corrige-se com o uso de lentes convergentes (figura 4.116).

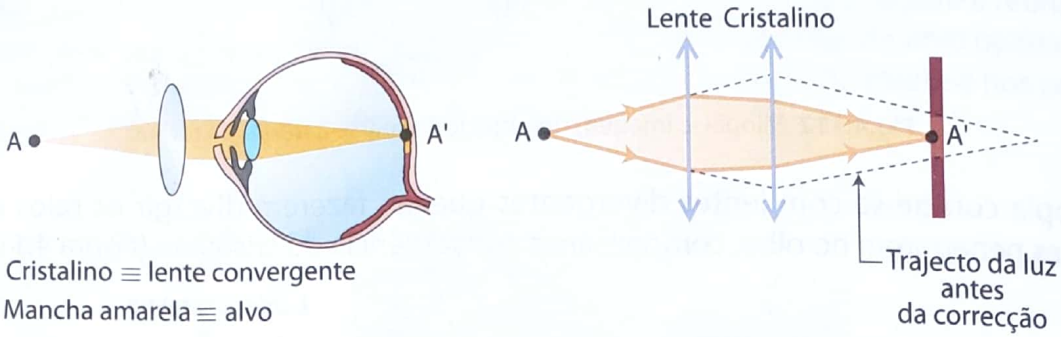


Fig. 4.116 Esquema da correcção da hipermetropia

Se examinarmos as lentes dos óculos que uma pessoa afectada de hipermetropia usa para ver ao perto, notaremos que são mais grossas na parte média do que nos bordos. Estas lentes denominam-se **lentes de bordos delgados** ou **convexas**.

Se olharmos através de uma destas lentes um objecto colocado a uma distância conveniente, veremos uma imagem direita e maior do que o objecto (figura 4.117).

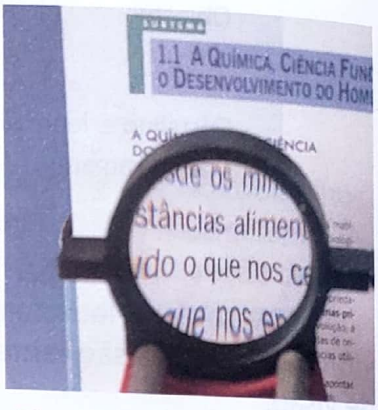


Fig. 4.117 Lentes de óculos de uma pessoa com hipermetropia

Presbitia

A **presbitia** ou «vista cansada» não é propriamente um defeito de visão, pois resulta de um aumento da rigidez dos músculos ciliares, o que dificulta a acomodação do cristalino na visão próxima.

Por isso, as pessoas com vista cansada vêem mal os objectos próximos tendo, nomeadamente, muita dificuldade em ler.

A correcção da presbitia faz-se também com lentes convergentes.

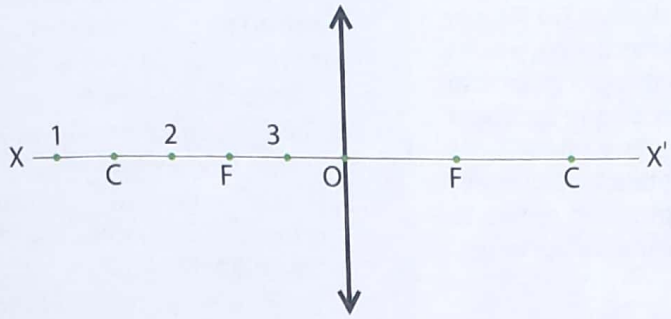
As pessoas que apenas sofrem de presbitia só precisam de usar óculos para ver ao perto e têm de os tirar para ver ao longe, ao contrário das que sofrem de hipermetropia, que não precisam de os tirar em qualquer circunstância.

Digitalizado com CamScanner



8. Um objecto com 10 cm de altura foi colocado a 30 cm de uma lente convergente com 20 cm de distância focal.
Constrói a imagem e, em seguida, caracteriza-a.

9. A figura a seguir representa uma lente delgada convergente com eixo principal XX', focos principais F e centros de curvatura A. Caracteriza a imagem de um objecto real colocado:



a) no ponto 1.
b) no ponto 2.
c) no ponto 3.
d) Para cada um dos casos anteriores, justifica a resposta com uma construção geométrica adequada.

10. Uma lente convergente fornece a partir de um objecto com 2 cm de altura, situado a 4 cm do seu centro óptico, uma imagem real a 12 cm da lente.
Faz a respectiva construção geométrica da imagem.

11. Um objecto com 10 cm de altura é colocado a 90 cm de uma lente convergente de distância focal 30 cm.
Faz a construção da imagem e, em seguida, caracteriza-a.

12. Um objecto está sobre o eixo óptico e a uma distância *d* de uma lente convergente de distância focal F. Sendo *d* maior que F e menor que 2F, pode-se afirmar que a imagem será:
A. Virtual e maior que o objecto.
B. Virtual e menor que o objecto.
C. Real e maior que o objecto.
D. Real e menor que o objecto.

13. Para que com uma lente convergente se obtenha uma imagem pontual, localizada no foco, o objecto deve localizar-se:
A. No foco.
B. No centro de curvatura.
C. No centro óptico.
D. No infinito.

Digitalizado com CamScanner

Unidade 1: Fenómenos térmicos

pp. 40 e 41

1. B., C. e E.

2. A transmissão de calor por condução verifica-se nos sólidos, onde cada partícula, ao receber energia calorífica adicional, transfere-a para a partícula seguinte e assim, sucessivamente. Na transmissão de calor por condução a matéria não se desloca no interior do corpo. As moléculas directamente aquecidas aumentam a sua amplitude de vibração e por isso chocam com as moléculas vizinhas que recebem uma parte da energia das primeiras e por sua vez aumentam a sua amplitude de vibração e chocam com as moléculas vizinhas. Este processo repete-se até que todo o corpo esteja à mesma temperatura.

3. C.

4. O cubo que se encontra no prato, em contacto com o ar livre, derrete mais rapidamente porque o pano de lã impede que o cubo B troque calor com o meio exterior.

5. A radiação térmica deve-se à emissão e à absorção de radiações electromagnéticas pelos corpos. Os corpos a temperaturas elevadas emitem ondas electromagnéticas na zona dos raios infravermelhos, que são os responsáveis pelo transporte do calor até nós através do espaço vazio.

6. A.

7. O ar quente na base das chaminés é menos denso que o ar frio que se encontra na parte superior. Assim, como o ar menos denso tem tendência a subir e o ar mais denso tem tênDencia a descer, geram-se as chamadas correntes de convecção que fazem a permuta entre o ar frio e o ar quente que sai pela chaminé, sendo visualizado na forma de fumo.

8. Não havendo espaço livre entre dois carris, no Verão, quando os carris dilatam por causa do calor, a linha vai empenar (entortar), provocando o descarrilamento do comboio. Os espaços entre os carris permitem a dilatação dos mesmos sem que a linha fique danificada.

9. Aquecendo o gargalo este dilata permitindo a saída da rolha.

10. O tamanho do orifício vai aumentar porque a chapa inteira vai dilatar para todos os lados.

11. Aplica as equações: $\frac{T_{°C}}{5} = \frac{T_{°F} - 32}{9}$

e $T_{°C} = T_K - 273{,}15$

substitui cada temperatura e encontra a temperatura correspondente nas outras escalas.

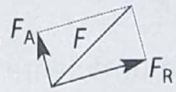
12. À temperatura de -40 °C os dois termómetros indicam o mesmo valor.

13. E. **14.** B. **15.** E. **16.** D.

17. E. **18.** A. **19.** A.

Unidade 2: Estática dos sólidos

pp. 71 a 75

1. 

$F = 100$ N

2. a) Zero b) Zero

4. a) O ponto de suspensão deve coincidir com o centro de gravidade do corpo.

b) O ponto de suspensão deve situar-se acima do centro de gravidade.

c) O ponto de suspensão deve situar-se abaixo do centro de gravidade.

5. a) F_3 tem momento nulo porque não provoca a rotação da chave/porca, mas apenas provoca deslocamento lateral.

b) Benjamim, porque o braço da força que ele aplica é maior e, por isso, o momento da sua força também é maior.

c) $M_1 = F_1 \cdot b_1 = 12$ N m $M_2 = F_2 \cdot b_2 = 36$ N m
$M_3 = F_3 \cdot b_3 = 0$ N m

6. a) 6 N m b) 6 N m c) 10 N

7. $m_2 = 2$ kg

8. $m_1 = 2$ kg ; $m_2 = 3{,}6$ kg ; $m_1 = 25$ kg

9. b) $F_p = 112{,}5$ N c) *Vant* $= 4$

10. a) Interfixa b) $F = 20$ N

11. D.

12. a) Inter-resistente, porque a força resistente está entre o fulcro e a força potente.

b) C.

13. a) Inter-resistente, porque a força resistente está entre o fulcro e a força potente.

b) $F_r = 100$ N

c) *Vant* $= 5$

d) Arquimedes quis dizer que, usando uma alavanca, um pequeno esforço nela aplicado pode gerar grandes forças.

14. a) Inter-potente porque a força potente está entre a força resistente e o fulcro.

b) 3,75 N c) *Vant* $= 1/4$

15. a) $F_r = 60$ N

b) Inter-resistente: a F_r está entre o fulcro e a F_p.

c) *Vant* $= 6$

16. a) Roldanas fixa e móvel.

b) 150 N e 75 N c) 1 e 2

17. D. **18.** $n = 5$ **19.** $F_r = 320$ N

20. a) Talha b) $n = 3$ c) $F_p = 7{,}5$ N

21. 3 125 N **22.** 20 N **23.** $F_r/F_p = 10$

24. a) Plano inclinado b) 480 N

c) *Vant* $= 1{,}25$

25. a) $l = 11$ m

b) 412,5 N

c) *Vant* $= 5{,}5$

26. 2 kg; 1 kg; 2,5 kg

Digitalizado com CamScanner

Unidade 3: Estática dos fluidos

pp. 89 e 90

1. a) C. porque quanto menor for a área de apoio, maior é a pressão exercida.
   b) 150 N/m²; 75 N/m²; 300 N/m²
2. Porque deitado, o menino B tem uma maior área de contacto, reduzindo a pressão.
3. a) Sobre a base B, porque quanto maior for a área de contacto, menor é a pressão exercida.
   b) 1,53 N/cm²; 0,38 N/cm²
4. Porque a pressão exercida aumenta com a diminuição da superfície e diminui com o aumento dessa superfície.
5. a) $8 \cdot 10^5$ N/m² b) $2{,}5 \cdot 10^5$ N/m²
6. As lagartas aumentam a superfície de contacto, diminuindo a pressão.
7. 0,8 g/cm³ = 800 kg/m³
8. 144 g
9. 5 070 g
10. 200 g
11. 50 cm³
12. a) 1 000 cm³
    b) 1 350 g c) 3 900 g
    d) 5 250 g e) 5 250 N/m²
13. a) 450 g b) 56 cm³ c) 8,04 g/cm³

pp. 98 e 99

14. a) $1 \cdot 10^5$ Pa b) $2 \cdot 10^5$ Pa
15. a) $1 \cdot 10^5$ Pa b) 25 m c) $4 \cdot 10^5$ Pa d) $1{,}5 \cdot 10^5$ Pa
16. C.
17. 159 000 Pa
18. 551 000 Pa
19. 5 m
20. a) $0{,}5 \cdot 10^5$ Pa b) $3 \cdot 10^3$ kg/m³
21. C.
22. a) $1{,}5 \cdot 10^5$ N/m² b) Zero
23. 24 000 Pa
24. a) 10 m
    b) 12,5 m

pp. 108 e 109

25. a) Maior porque o líquido mais denso (B) vai para o fundo do sistema. b) $\rho_B = 1{,}5$ g/cm³
    c) $p_A = 101\,750$ Pa
26. 12,8 cm
27. a) Menor porque o líquido mais denso (mercúrio) vai para o fundo do sistema.
    b) $\rho_X = 1{,}36$ g/cm³ c) $p_X = 680$ Pa
28. 8 cm 29. b) 2,25 g/cm³
30. 50 N 31. 1 080 N
32. 700 N
33. a) 5 N/cm² b) 1 000 N
34. 2 000 cm²
35. 360 N
36. $m = 1{,}8$ kg

pp. 120 e 121

37. A.
38. C.
39. a) 103 kg/m³
    b) $P_{ap} = 210$ N
40. $I = 1 \cdot 10^4$ N
41. $m = 27$ g
    Como a densidade do corpo é menor que a da água, no equilíbrio, parte do corpo fica submerso e outra parte fica fora de água. Assim,
    $V_{LD} = 3 \cdot 10^{-5}$ m³
42. a) 1 000 N b) 1 000 N
    c) O barco pode afundar.
43. a) $I = 2$ N
    b) $P_{ap} = 3$ N peso do corpo mergulhado; $P = 5$ N
44. A. F B. V
    C. Os sólidos flutuam em líquidos mais densos do que eles e afundam em líquidos menos densos.

Unidade 4: Óptica geométrica

p. 145

1. a) Fontes luminosas, linha recta, transparente, visão clara, não se propaga, impossível, translúcido, pouco nítida.
   b) Opaco, sombra, penumbra, propagação rectilínea da luz.
2. D.
3. 50°
4. 30°
5. C.
6. D.
7. a) $d' = 2$ m b) $h' = 20$ cm

p. 173

8. Real, invertida, maior, situada antes do centro de curvatura.
9. a) Real, invertida e menor.
   b) Real, invertida e maior.
   c) Virtual, direita e maior.
12. C.
13. D.

Digitalizado com CamScanner

Bibliografia

Alvarenga, Beatriz; Máximo, António. *Curso de Física 1, 2 e 3*, 2.ª Edição, Editora Harper & Row do Brasil, São Paulo, 1986.

Bukhovtse, B. B.; Krivtchenkov, V. D.; Miakishev, G. Ya; Saraeva, I. M. *Problemas Seleccionados de Física Elementar*, 2.ª Edição, Editora Mir, Moscovo, 1985.

Fiolhais, Carlos; Fiolhais, Manuel; Gil, Victor; Paiva, João; Morais, Carla; Costa, Sandra. *8 CFQ – Sustentabilidade na Terra*, Ciências Físico-Químicas – 8.º ano, Texto.

Fiolhais, Carlos; Fiolhais, Manuel; Gil, Victor; Paiva, João; Morais, Carla; Costa, Sandra. *9 CFQ – Viver Melhor na Terra*, Ciências Físico-Químicas – 9.º ano, Texto.

Resnick, R.; Halliday, D. *Física 1 e 2*, 4.ª Edição, Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., Rio de Janeiro, 1983.

Tipler, Paul. *Física*, Volumes 1 e 2, 3.ª Edição, Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A., Rio de Janeiro, 1991.

Digitalizado com CamScanner



Alberto Felisberto Cupane

Doutorado em Educação de Ciências, pela Curtin University of Technology – Austrália. Licenciado em Ensino de Matemática e Física, pelo então, Instituto Superior Pedagógico (actual Universidade Pedagógica – UP). Bacharel em Ensino de Matemática e Física, pela Universidade Eduardo Mondlane – UEM.

Desempenhou funções de docente de Física e Matemática, do nível Básico ao Universitário, em diversas escolas de Manica, bem como na cidade e província de Maputo. Planificou e implementou vários cursos de formação, em serviço, para os professores de Matemática e Física no Ensino Geral e Ensino Técnico-Profissional. É co-autor e autor dos livros «Física pela Prática» das 8.ª e 9.ª Classes, respectivamente. Actualmente, desempenha as funções de Chefe de Departamento de Física na UP.

8.ª Classe

Biologia[1]
978-902-47-5935 4
Física[1]
978-902-47-5933 0
Geografia[1]
978-902-47-5937 8
História[1]
978-902-47-5934 7
Matemática[1]
978-902-47-5939 2
Português[1]
978-902-47-5940 8
Química[1]
978-902-47-5938 5
Agro-Pecuária[2]
978-902-47-5948 4
Educação Visual[2]
978-902-47-5932 3
Inglês[2]
978-902-47-5936 1

9.ª Classe

Física[1]
978-902-47-5945 3
Geografia[1]
978-902-47-5946 0
História[1]
978-902-47-5947 7
Matemática[1]
978-902-47-5924 8
Português[1]
978-902-47-5950 7
Química[1]
978-902-47-5944 6
Empreendedorismo[1]
978-902-47-5920 0
Agro-Pecuária[2]
978-902-47-5949 1
Biologia[2]
978-902-47-5942 2
Educação Visual[2]
978-902-47-5941 5
Inglês[2]
978-902-47-5943 9

10.ª Classe

Agro-Pecuária[1]
978-902-47-5472 4
Física[1]
978-902-47-5469 4
Geografia[1]
978-902-47-5468 7
História[1]
978-902-47-5466 3
Matemática[1]
978-902-47-5496 0
Empreendedorismo[1]
978-902-47-5471 7
Química[1]
978-902-47-5465 6
Tecnologias de Informação e Comunicação[1]
978-902-47-5470 0
Biologia[2]
978-902-47-5467 0
Educação Visual[2]
978-902-47-5463 2
Inglês[2]
978-902-47-5464 9
Português[2]
978-902-47-5430 4

[1] Livros no sistema de ensino
[2] Livros de apoio e consulta

Digitalizado com CamScanner







HINO NACIONAL

Pátria Amada

Na memória de África e do Mundo
Pátria bela dos que ousaram lutar
Moçambique o teu nome é liberdade
O sol de Junho para sempre brilhará.

Coro

Moçambique nossa terra gloriosa
Pedra a pedra construindo o novo dia
Milhões de braços, uma só força
Ó pátria amada vamos vencer.

Povo unido do Rovuma ao Maputo
Colhe os frutos do combate pela Paz
Cresce o sonho ondulado na Bandeira
E vai lavrando na certeza do amanhã.

Flores brotando do chão do teu suor
Pelos montes, pelos rios, pelo mar
Nós juramos por ti, ó Moçambique
Nenhum tirano nos irá escravizar.



LeYa
Texto Editores
978-902-47-5945-3
9 789024 759453
www.leya.co.mz
www.leyaonline.com
E-mail: info@me.co.mz
Ensino Secundário

Digitalizado com CamScanner