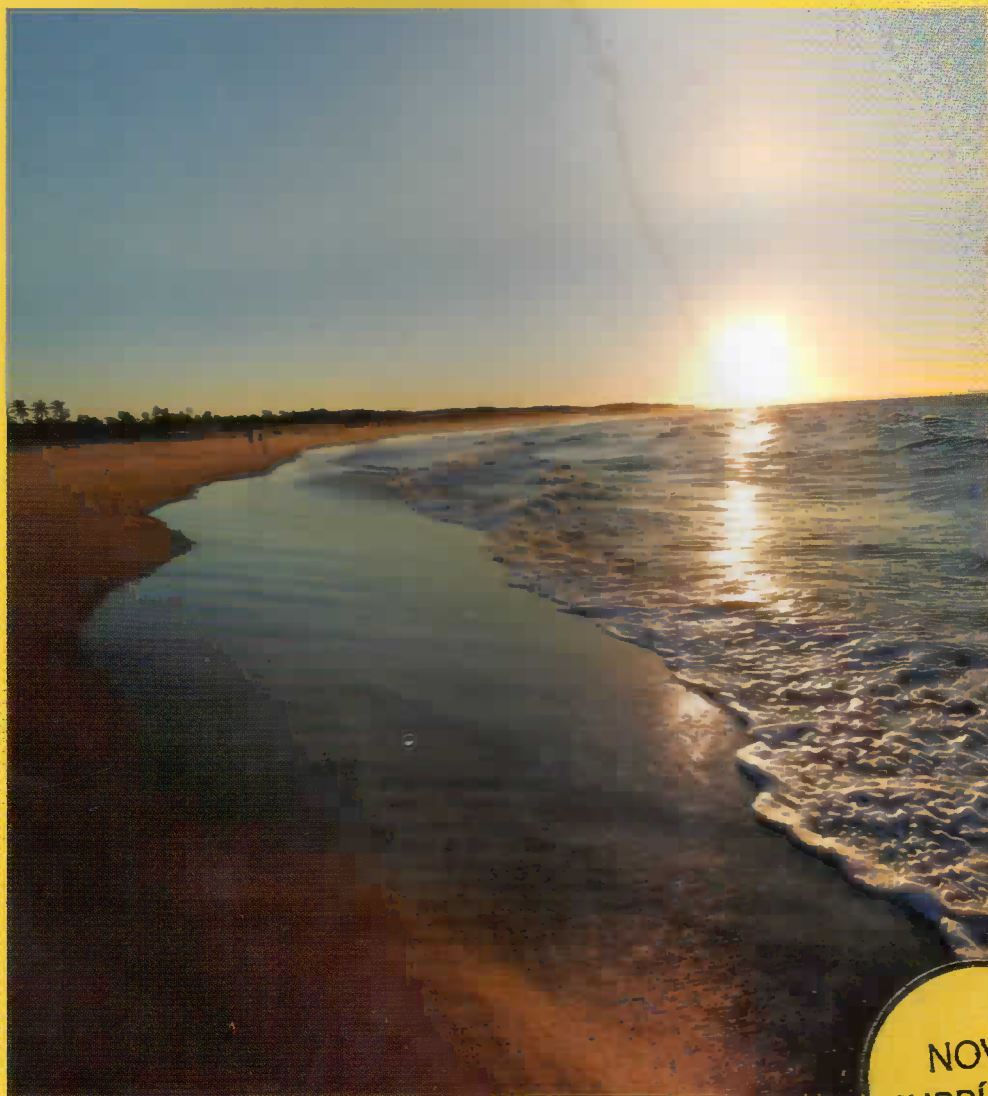


Física

9^a
Classe

para todos



NOVO
CURRÍCULO

João Paulo Meneses
Arnaldo Natingue Sefane • Fabião F. Nhabique



Física para todos 9ª Classe

João Paulo Menezes
Fabião F. Nhabique e Arnaldo Natingue Sefane



Física Para Todos – 9ª Classe – Livro do Aluno

© João Paulo Menezes, Fabião F. Nhabique e Arnaldo Natingue Sefane
Ilustração e paginação de Editora Nacional de Moçambique S.A. 2010
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.

Primeira edição 2010

10 12 11

1 3 5 7 9 10 8 6 4 2

Publicado pela Editora Nacional de Moçambique S. A.
1ª Perpendicular à Rua Padre João Nogueira nº 7
Maputo
Moçambique

Composição A2 Design Lda., Maputo

Ilustrações: Helder Sutia, Joaquim Mendonça e Carla Maritz. Fotografias: aai/Fotos-
tock, africanpictures.net, Afripics.com, Gallo Images, Greatstock, INPRA, Macmillan
Photo Library, Photo Access, Picturennet, Science Photo Library, The Bigger Picture,
VMS- Visual Media services
Capa por Gerry Guy

REGISTADO NO INLD SOB O NÚMERO 160/RLINLD/2008
Número de registo 5833/RLINLD/2008

ISBN 978 0 85320 669 9

WIP 1592

Embora tenhamos envidado todos os esforços para identificar e reconhecer pos-
síveis direitos de autoria, a editora apresenta as suas desculpas caso tenha infringido,
inadvertidamente, os direitos de autor de alguém e prontifica-se a chegar a um
acordo com a parte lesada.

Este livro prossegue a série PARA TODOS, que se estende da 8ª à 12ª classes e que
acompanha o programa definitivo para o Ensino Secundário divulgado em 2008
pelo Ministério de Educação.

Printed and bound by Pineton Printers

ÍNDICE

Unidade 1 – Fenómenos Térmicos 2

Introdução 2

A natureza e alguns dos seus processos térmicos 3

O que é a temperatura? 5

O que é um termómetro? 6

Escalas termométricas e a graduação dos termómetros 7

Conversão de uma escala termométrica para outra 8

Dilatação térmica 12

Comprovação experimental da dilatação térmica 12

Conceito de calor 15

Capacidade térmica de um corpo e calor específico de uma substância 20

Grandeza física 22

Unidade 2 – Estática dos Sólidos 28

Introdução 28

Revisão do conceito de força e seus elementos 28

Centro de gravidade de um corpo 30

Determinação experimental do centro de gravidade de um corpo 30

Condições de equilíbrio de um corpo apoiado 32

Momento de uma força em relação a um corpo fixo 33

Máquinas simples 36

Alavanca 37

Vantagem mecânica de uma máquina simples 40

Roldana 44

Associações de alavancas 46

Sarilho 49

O plano inclinado 50

Trabalho nas máquinas simples 52

Unidade 3 – Estatísticas dos fluidos

Introdução	7
Conceito de densidade de uma substância	7
Unidades de densidade	6
Conceito de pressão	6
Unidades de pressão	6
Outras unidades de pressão	6
Propriedades dos líquidos	6
Pressão hidrostática	7
Cálculo da pressão hidrostática	7
Pressão atmosférica	7
Medição da pressão atmosférica: experiência de Torricelli	7
Princípio fundamental da hidrostática	7
Princípio de Pascal	8
Prensa hidráulica	8
Vasos comunicantes	8
Vasos comunicantes com um só líquido	8
Vasos comunicantes com líquidos imiscíveis	8
Princípio de Arquimedes	9
Força de impulsão e peso aparente de um corpo	9
Verificação experimental da lei de Arquimedes	9
Condições de flutuação dos corpos	9
Mau tempo ... Bom tempo ... Falam os barômetros	9
Barômetros	9
Manómetro: aparelho para medir a pressão	9

Unidade 4 – Óptica Geométrica 101

Introdução	101
Conceitos ópticos básicos	102
Raio e feixe luminoso	103
Princípios da óptica geométrica	103
Consequências da propagação rectilínea da luz	104
Reflexão da luz	105
Leis da reflexão da luz	106

58	Imagem dada por um espelho plano	107
	Associação de dois espelhos planos	108
58	Espelhos esféricos	111
58	Construção das imagens num espelho côncavo	114
61	Equação principal dos espelhos esféricos	115
65	Refracção da luz	120
66	Índice de refracção absoluto de um meio	121
66	Refrangência de um meio	121
69	Leis da refracção da luz	122
71	Lâmina de faces paralelas	122
72	Reflexão total e ângulo limite	123
76	Lentes delgadas	125
77	Construção das imagens dadas pelas lentes convergentes	126
78	Equação das lentes	128
82	Instrumentos ópticos	131
83	A lupa	131
86	O microscópio óptico	131
86	Máquina fotográfica	132
88	Olho humano	132
91	Defeitos da visão e sua correcção	134
91	Anexo 1 – Áreas e volumes de figuras planas e sólidos	136
92	Anexo 2 – Sistemas de unidades	137
94	Anexo 3 – Algumas constantes universais	141
96	Anexo 4 – Alguns dados sobre o sistema solar	141
97	Anexo 5 – Alguns dados sobre a Terra, a Lua e o Sol	142
98	Bibliografia	143

101

101

102

103

103

104

105

106

PREFÁCIO

Ensinar Física não é uma tarefa fácil. Ensinar Física, num país com carências e vária ordem, desde a falta de laboratórios adequados, ao número excessivo de alunos por turma torna-se, não temos dúvidas disso, um acto quase sobrenatural. Como explicar a uma criança que nunca viu uma lâmpada eléctrica acesa, o que é "corrente eléctrica"? Como explicar a uma criança que nunca viu uma lupa, o que é um microscópio? Ao aceitarmos o desafio de escrever esta obra, estávamos conscientes das dificuldades que tal desiderato nos colocaria pela frente, por isso, preocupámo-nos em usar uma linguagem simples, de fácil compreensão, que permita a rápida assimilação e consolidação dos conceitos aqui abordados. Procurámos abordar os diversos conteúdos científicos a partir de exemplos simples, do dia-a-dia, para que todos possam perceber que sábios como Aristóteles, Arquimedes, Pitágoras, Newton e muitos outros partiram de condições "piores do que as nossas" e, com grande paixão, foram erguendo os alicerces desta bela ciência chamada Física. A curiosidade e a vontade de responder a todos os "porquês" que a vida lhes colocava fez deles os pioneiros de uma ciência fascinante.

A falta de um "laboratório sofisticado" não pode constituir impedimento para que as nossas crianças aprendam Física, por isso, preocupámo-nos em escolher experiências que podem ser facilmente realizadas com "material local" e de baixo custo, melhor dizendo, de custo zero, pois muitos dos materiais necessários para as experiências científicas, aqui propostas, podem ser encontrados nos desperdícios domésticos, como também podem (e devem) ser elaborados na escola pelos alunos, com o auxílio e orientação do seu professor.

Aos alunos da 9ª classe, principal destino desta obra, queremos deixar uma palavra de encorajamento e um desafio – que os livros do amanhã sejam escritos por vós e todos possamos dizer "o aluno superou o mestre".

Aos professores de Física, nossos colegas, queremos deixar uma palavra de apreço pelo esforço e dedicação que colocam na formação dos nossos jovens.

Como é evidente, esta não é uma "obra acabada", antes pelo contrário. Aliás, ao invés do que muitos pensam, a Física não é uma "Ciência acabada". Desde a antiguidade, muitos conceitos foram sendo alterados, alguns melhorados e muitos outros completamente redefinidos, por isso agradecemos qualquer colaboração construtiva que permita melhorar o nosso trabalho.

UNIDADE 1:

Fenómenos Térmicos

OBJECTIVOS

O aluno deve ser capaz de:

- Distinguir os fenómenos térmicos na natureza.
- Definir a grandeza física temperatura.
- Usar correctamente o termómetro na medição da temperatura de um corpo.
- Identificar os pontos fixos em diferentes escalas termométricas.
- Relacionar as diferentes escalas termométricas, fazendo a conversão de unidades.
- Exemplificar a dilatação térmica dos corpos sólidos, líquidos e gases na vida diária.
- 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.

CONTEÚDO

Conteúdos

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

Fenómenos Térmicos

1

INTRODUÇÃO

Em pleno Verão ou Outono, as pessoas costumam reclamar da temperatura - "que calor insuportável!", "que frio!". Para ter conforto físico, vestem roupas leves quando a temperatura sobe, a fim de evitar o excesso de calor, e agasalham-se quando a temperatura cai. Desta maneira, o organismo não fica exposto às alterações térmicas que prejudicam a sua estabilidade. O ar condicionado dá uma agradável sensação de bem-estar, porque é controlado para manter o ambiente a temperatura constante, sejam quais forem as alterações climáticas que possam ocorrer.

Nas regiões tropicais, o calor do Verão é amenizado também pelo uso de ventiladores, circuladores de ar e outros recursos. Nos lugares mais frios, além da tradicional lareira, as casas costumam ser dotadas de sistemas de aquecimento central.

Por outro lado, o calor é muito mais importante na nossa vida do que a simples sensação que nos causa. O calor cozinha os alimentos, aquece a água, seca a roupa, etc. Na indústria, é utilizado para separar os minérios dos metais e na transformação destes em variados utensílios, do arado às armas de guerra, para preparar a cerâmica, produzir papel, tecidos, vidro. O calor produzido na queima de combustível em motores movimenta automóveis, navios, aviões e foguetes. Nas centrais termoelétricas e nucleares, faz girar as turbinas que movimentam geradores e produzem energia. O calor que o homem usa provém de diversas fontes. As principais são: o Sol, a própria Terra, as reacções químicas, o atrito e a energia nuclear.

Apesar de tão evidente, a natureza do calor só recentemente foi definida pela ciência. Até ao final do século XVIII, os cientistas acreditavam que o calor era uma espécie de fluido imponderável (sem massa) e invisível que aquecia ou resfriava os corpos. Deram a essa substância o nome de calórico. O equilíbrio térmico era mantido quando os corpos ganhavam ou perdiam calóricos.

Em 1798, o físico Benjamim Thompson, conde Rumford, observou que o atrito aquecia os metais e depois o calor conservava-se por algum tempo nas peças friccionadas. Logo, o calor seria uma forma de energia obtida pelo trabalho mecânico. Já o químico inglês Humphry Davy concluiu que essa teoria poderia ser demonstrada esfregando-se dois blocos de gelo que se derreteriam pelo atrito, sem possuir calóricos. Assim, produzia-se calor do nada.

Foi, no entanto, o físico alemão Hermann Von Helmholtz que, em 1847, estabeleceu a definição de calor como energia mecânica, afirmando que todas as formas de energia equivalem a calor. Isso foi provado logo depois pelo seu colega inglês James Prescott Joule. Construindo um aparelho simples, que aproveitava o trabalho mecânico produzido pela queda de corpos, Joule mediu a quantidade de energia mecânica necessária para elevar, por agitação, a temperatura de uma certa quantidade de água. Estava demonstrada quantitativamente a equivalência mecânica do calor.

Concluímos que, assim como o movimento produz calor, o calor, por sua vez, também produz movimento. Desse modo, a antiga teoria dos calóricos uniu-se à nova noção de energia térmica.

A NATUREZA E ALGUNS DOS SEUS PROCESSOS TÉRMICOS

O orvalho, o nevoeiro, a geada, a neve e o granizo, entre outros, são processos térmicos que fazem parte do ciclo da água, mas que ocorrem apenas sob determinadas condições atmosféricas. Devido a esses processos, o ar, o solo e as folhas aquecem durante o dia e esfriam durante a noite de maneira diferente. As variações de temperatura propiciam a formação do orvalho.



Fig. 1.1 Nevoeiro

O orvalho forma-se quando o vapor de água contido no ar entra em contacto com superfícies que estejam a temperaturas mais baixas – abaixo do ponto de orvalho – e se condensa. O vapor de água condensado deposita-se em gotículas sobre superfícies horizontais e resfriadas (terra, telhados, folhagens, etc.), pela manhã e à noite. De dia, geralmente, não há formação de orvalho, porque o vento favorece a troca de calor com o meio, impedindo o ponto de orvalho no solo.

O nevoeiro é constituído por um grande número de gotículas de água suspensas na camada mais baixa da atmosfera e que difere da nuvem apenas por estar mais perto da superfície terrestre. A sua formação depende da temperatura, da humidade do ar e da quantidade de partículas nele existentes. Se a temperatura do próprio ar húmido for diminuindo, de forma a torná-lo saturado, pode ocorrer a condensação na atmosfera, que conduz ao nevoeiro. Esse resfriamento pode ocorrer por irradiação ou por contacto com camadas de ar mais frio.

Um **géiser** é uma nascente termal que entra em erupção a intervalos regulares, lançando para o ar jactos de água quente e vapor. A formação de géiseres requer uma hidrogeologia favorável, o que existe apenas em poucos locais na Terra, por isso não são fenómenos vulgares. Existem cerca de mil em todo o mundo e metade destes localiza-se no Parque Nacional de Yellowstone, nos Estados Unidos.



Fig. 1.2 Um géiser em erupção

A palavra geiser provém do verbo *gjósa*, que quer dizer "jorrar". Vem também de *Geysir*, nome de uma nascente eruptiva em Haukadalur, na Islândia.

Em contacto com as rochas e a lava vulcânica a elevadas temperaturas, a água subterrânea que se encontra nas fissuras, cavidades e lençóis freáticos vai aquecendo gradualmente. A elevada pressão a que a água se encontra faz aumentar o ponto de ebulição. Há casos em que, quando a temperatura da água atinge um ponto crítico, entra rapidamente em ebulição. O vapor obriga então a água a subir de forma violenta, em forma de jacto, dando origem a esta manifestação de vulcanismo. Esses jactos podem atingir cerca de 80 metros de altura e apresentar temperaturas de 70 °C a 100 °C.

Os vulcões também são fenómenos naturais associados à elevação da temperatura com a profundidade no subsolo. Eles ejectam elevadas quantidades de rochas, poeiras, gases e aerossóis para a atmosfera, podendo inclusivamente causar um resfriamento climático temporário. A erupção de um vulcão é susceptível de resultar num grave desastre natural, podendo, por vezes, atingir consequências planetárias.



Fig. 1.3 Formação de um vulcão

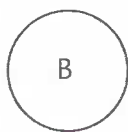
O que é temperatura?

De forma qualitativa, podemos descrever a temperatura de um objecto como a grandeza que determina a sensação de quanto está quente ou frio, quando entramos em contacto com ele.

É fácil mostrar que, quando dois objectos são postos em contacto (dizemos que eles estão em contacto térmico), esfria o objecto com temperatura maior, enquanto que o objecto com temperatura menor esquenta até um ponto em que não ocorrem mais mudanças e, para os nossos sentidos, eles parecem estar à mesma temperatura. Quando as mudanças térmicas findam, dizemos que os dois objectos estão em equilíbrio térmico.

Mas o que é, em Física, a temperatura? A temperatura é um parâmetro físico (uma função de estado) descritivo de um objecto, que vulgarmente se associa às noções de frio e calor, bem como às transferências de energia térmica, mas que se poderia definir, mais exactamente, como a medida da energia cinética associada ao movimento (vibração) aleatório das partículas que compõem um dado corpo. Se fizermos experiências com mais de dois corpos, concluiremos que muitos objectos podem ser colocados em equilíbrio térmico entre si. Ou seja, o equilíbrio térmico não depende do tipo de objecto utilizado. Ou, mais precisamente:

Lei zero da termodinâmica: se os corpos A e B estão em equilíbrio térmico com um corpo C, então A e B estão em equilíbrio térmico entre si, isto é, todos eles possuem a mesma temperatura.



Se $T_A = T_C$ e $T_B = T_C$, então $T_A = T_B$

Fig. 1.4 Lei zero da termodinâmica

O que é um termómetro?

Um termómetro é um instrumento que mede quantitativamente a temperatura de um sistema. A maneira mais fácil de se fazer isso é achar uma substância que possua uma propriedade que se modifique de modo regular com a temperatura.

Os primeiros termómetros surgiram na Idade Média e chamavam-se **termoscópios**. Consistiam de um bulbo, como se vê na figura ao lado, contendo um tubo longo com um extremo mergulhado em água colorida (geralmente utilizava-se vinho). Um pouco de ar no tubo era expulso antes de se colocar o líquido, o que fazia com que este subisse. Quando o restante ar contido no tubo e no bulbo era aquecido ou esfriado, o nível do líquido no tubo variava, reflectindo uma mudança na temperatura do ar. Uma escala permitia que se fizesse a medida quantitativa dessas flutuações.



Fig. 1.5 - Termoscópio florentino

A figura abaixo ilustra o termómetro de mercúrio num tubo de vidro. Este aparelho contém um bulbo ou reservatório cheio de mercúrio, que se pode expandir ou contrair dentro de um tubo capilar (tubo muito fino), dependendo de a temperatura aumentar ou diminuir. A sua taxa de expansão é calibrada na escala de vidro. A escolha do mercúrio (ou do álcool) como líquido termométrico deve-se ao facto desses líquidos sofrerem uma dilatação regular, isto é, para uma mesma variação de temperatura o álcool e o mercúrio apresentam uma mesma variação de volume, ao contrário, por exemplo, da água que, ao invés de dilatar, se contrai quando a temperatura aumenta de 0°C até 4°C .



Fig. 1.6 - Termómetro de mercúrio

Escalas Termométricas: Graduação dos Termómetros

Actualmente utilizam-se três escalas termométricas, nomeadamente:

a) **A escala Celsius:** criada por Anders Celsius, um astrónomo sueco, em 1742. Este cientista seleccionou dois pontos fixos nos quais a sua escala seria baseada: o ponto de fusão do gelo e o ponto do vapor de água em ebulição.

Celsius colocou um termómetro dentro de uma mistura de água e gelo, em equilíbrio térmico, e marcou o ponto zero (0°C) na posição em que o mercúrio estabilizou.

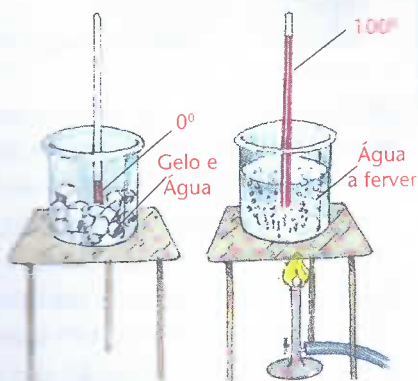


Fig. 1.7

Depois colocou o termómetro num recipiente com água em ebulição e no ponto em que o mercúrio estabilizou marcou o ponto cem (100°C). Dividiu o intervalo entre esses dois pontos em 100 partes iguais, cada uma correspondente a 1°C . Estava criada a escala Celsius.

A vantagem desta escala é que poderia ser reproduzida em qualquer canto do planeta pois, ao nível do mar, a água transforma-se em gelo e ferve às mesmas temperaturas (0°C e 100°C , respectivamente). A escala Celsius é a mais comum de todas as escalas termométricas, por ser a mais simples de usar.



Fig. 1.8 Anders Celsius

b) **Escala Fahrenheit:** esta escala foi criada pelo inventor do termómetro de mercúrio, Daniel Gabriel Fahrenheit, por volta de 1714. Para isso escolheu dois pontos de partida, chamados actualmente de **pontos fixos**. Inicialmente colocou o termómetro, ainda sem escala, dentro de uma mistura de água, gelo e sal de amónio. O mercúrio ficou estacionado em determinada posição, a qual ele marcou e chamou de 32 F (ponto do gelo). Depois colocou o termómetro num recipiente com água em ebulição para determinar o segundo ponto fixo (ponto do vapor de água em ebulição). Quando o mercúrio estacionou outra vez em determinada posição, aqui marcou 212 F. Finalmente, dividiu o espaço entre 32 F e 212 F em 180 partes iguais. Estava criada a escala Fahrenheit. Esta escala é mais usada nos países de língua inglesa, com excepção da Inglaterra, que já adoptou o sistema Celsius.

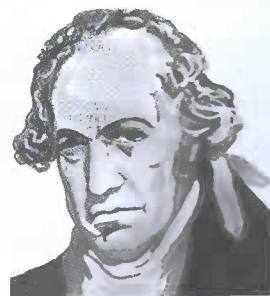


Fig. 1.9 Daniel Fahrenheit

c) **Escala Kelvin ou absoluta:** esta escala foi concebida pelo físico britânico William Thomson Kelvin (Lord Kelvin). Para a sua concepção, Kelvin serviu-se do conceito de temperatura como grandeza que mede o nível de agitação das moléculas de um corpo. Quanto maior a agitação, maior a temperatura, e quanto menor a agitação, menor a temperatura. Sendo assim, qual será a temperatura de um corpo quando as suas moléculas não tiverem agitação nenhuma? Seria lógico pensar que a temperatura deveria ser igual a ZERO. Se não há agitação, também não há temperatura. Este estado de ausência de agitação é conhecido como ZERO ABSOLUTO e não pode ser experimentalmente alcançado, embora se possa chegar muito próximo dele. A escala Kelvin adopta como ponto de partida o zero absoluto (0 K), ou seja, o ponto em que ocorre esta ausência total de vibração das moléculas. Nesta escala, o gelo forma-se a 273K e a água ferve a 373K (ao nível do mar). Esta escala é muito usada no meio científico, já que pertence ao Sistema Internacional (SI).



Fig. 1.10 - Lord Kelvin

Conversão de uma escala termométrica para outra

Podemos ter uma temperatura numa escala e achar o valor correspondente noutra. A esse procedimento chamamos de **conversão de escalas termométricas** e efectua-se por meio de uma equação de conversão. O procedimento para obtenção da equação de conversão entre as escalas mais usadas é o seguinte:

1) Se colocarmos os três termómetros de mercúrio nas escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin num recipiente com água à temperatura ambiente, a altura da coluna de mercúrio será a mesma em todos os termómetros. No entanto o valor numérico será diferente, pois as escalas são diferentes: tais valores serão chamados de T_c , T_f e T_k respectivamente, para cada uma das escalas.

2) Da mesma forma, na fusão do gelo e na ebulição da água, a altura da coluna de mercúrio será a mesma, mas os valores numéricos indicados nas escalas serão diferentes.

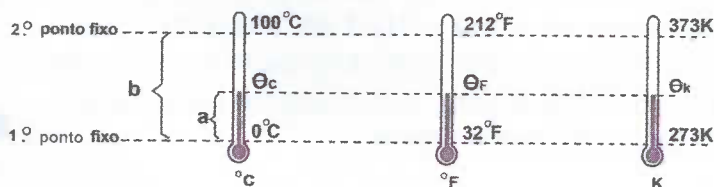


Fig. 1.11

Como há uma mesma proporção entre as alturas das colunas de mercúrio nas escalas, podemos escrever:

$$\frac{a}{b} = \frac{T_c - 0}{100 - 0} = \frac{T_f - 32}{212 - 32} = \frac{T_k - 273}{373 - 273} \Leftrightarrow \frac{T_c}{100} = \frac{T_f - 32}{180} = \frac{T_k - 273}{100}$$

Simplificando os termos das escalas, e dividindo os denominadores das fracções por 20, obtemos a equação de conversão:

$$\frac{T_c}{5} = \frac{T_f - 32}{9} = \frac{T_k - 273}{5} \Leftrightarrow \boxed{\frac{T_c}{5} = \frac{T_f - 32}{9}} \quad \boxed{T_c = T_k - 273}$$

Exemplos resolvidos

1. Converta a temperatura de 41°F para as outras escalas termométricas:

Resolução

$T_f = 41^\circ\text{F}$ — usando a equação de conversão da escala Celsius para Fahrenheit e vice-versa, temos:

$$\frac{T_c}{5} = \frac{T_f - 32}{9} \Leftrightarrow \frac{T_c}{5} = \frac{41 - 32}{9} \Leftrightarrow \frac{T_c}{5} = \frac{9}{9} \Leftrightarrow \frac{T_c}{5} = 1 \Leftrightarrow T_c = 5^\circ\text{C}$$

E, usando a equação de conversão da escala Fahrenheit para a Kelvin e vice-versa, teremos:

$$\frac{T_c - 32}{9} = \frac{T_k - 273}{5} \Leftrightarrow \frac{41 - 32}{9} = \frac{T_k - 273}{5} \Leftrightarrow \frac{9}{9} = \frac{T_k - 273}{5} \Leftrightarrow 5 = T_k - 273 \Leftrightarrow T_k = 278\text{K}$$

2. A que temperatura um termómetro Centígrado e um termómetro Fahrenheit indicarão o mesmo valor?

Resolução

$$\frac{T_c - 32}{9} = \frac{T_k - 273}{5} \text{ onde } T_c = T_k = x. \text{ Substituindo na equação, teremos } \frac{x - 32}{9} = \frac{x - 273}{5} \Leftrightarrow 9 \cdot x = 5 \cdot (x - 32) \Leftrightarrow$$

$x = 5 \cdot x - 160 \Leftrightarrow 4x = -160 \Leftrightarrow x = -40$. A uma temperatura de -40°C , o termómetro Fahrenheit indicará, também, o valor de -40°F .

3. A D. Lúcia adquiriu num supermercado uma embalagem de um produto fresco proveniente da Austrália, em cujo rótulo podia ler-se a seguinte indicação: "Manter a 24,8 °F".

Em Moçambique, qual é o valor da temperatura recomendada no rótulo da embalagem?

Resolução

Como a temperatura a que o produto deve ser conservado vem em °F e a D. Lúcia só conhece a escala centígrada, devemos converter 24,8 °F para a escala centígrada:

$$\frac{T_c}{5} = \frac{T_f - 32}{9} \Leftrightarrow \frac{T_c}{5} = \frac{24,8 - 32}{9} \Leftrightarrow \frac{T_c}{5} = \frac{-7,2}{9} \Leftrightarrow T_c = \frac{5 \cdot (-7,2)}{9} \Leftrightarrow T_c = -4^\circ \text{C}$$



ACTIVIDADES

1. Explique que procedimentos devemos adoptar para graduar um termómetro.
2. Quais são os pontos de fusão do gelo e de ebulição da água nas escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin?
3. A escala Kelvin também é conhecida como "escala absoluta". Explique porquê.
4. Converta as seguintes temperaturas para as outras duas escalas termométricas estudadas:
a) 77 F b) 25 °C c) 323 K d) - 15 °C
5. A província de Tete, no centro do nosso país, é a mais quente de Moçambique onde, no verão, os termómetros chegam a marcar 44 °C. Diga qual das alíneas abaixo indica essa temperatura na escala Fahrenheit:
a) 11,1°F b) 56,4 °F c) 47,2 °F d) 111,1 °F
6. Um termómetro Fahrenheit indica que uma determinada massa de gás se encontra à temperatura de 86 °F. Qual é o valor desta temperatura na escala absoluta?
a) 3,03 K b) 30,3 K c) 303 K d) 359 K

7. Numa aula de laboratório, um grupo de alunos da 9ª classe deve manter um gás à temperatura de 300 K. Quanto deverá indicar um termómetro centígrado introduzido nesse gás?

- a) 30 °C b) 27 °C c) 300 °C d) 573 °C

8. Um turista moçambicano sentiu-se mal durante uma viagem e foi levado inconsciente a um hospital. Após recuperar os sentidos, sem saber em que local estava, disseram-lhe que a temperatura do seu corpo atingira 104 graus, mas que já "caíra" de 5,4 graus. Passado o susto, percebeu que a escala termométrica utilizada era a Fahrenheit. Desta forma, na escala Celsius, a queda de temperatura do seu corpo foi de:

- a) 1,8 °C b) 3,0 °C c) 5,4 °C d) 6,0 °C e) 10,8 °C

9. A escala de temperatura Fahrenheit foi inventada pelo cientista alemão Daniel Gabriel Fahrenheit (1686 - 1736). Ele teria usado para 0°F a temperatura do dia mais frio de 1727, na Islândia, marcada por um amigo e, para 104 °F, a temperatura do corpo da sua esposa, num determinado dia. Se isso é verdade, então:

- a) no ano de 1727, na Islândia, a temperatura atingiu valores inferiores a -20 °C;
b) no ano de 1727, na Islândia, a temperatura não foi inferior a -10 °C;
c) nesse dia, a esposa estava com febre alta: 40° C;
d) nesse dia, a esposa estava com a temperatura inferior à normal (37 °C);

10. Quando um termómetro centígrado indicar 0°C, os termómetros Fahrenheit e Kelvin indicarão, respectivamente:

- a) 212 °F e 273 K b) 32 °F e 273 K c) 180 °F e 373 K d) 0 °F e 0 K

Dilatação Térmica

Na natureza, todos os corpos estão sujeitos a dilatação térmica, uns mais e outros menos. Geralmente, quando aquecemos um corpo ou substância, estes tendem a aumentar de volume (expansão térmica). E se arrefecermos o corpo ou a substância, este tende a diminuir de volume (contração térmica).

Existem alguns materiais que, em condições especiais, fazem o contrário, ou seja, quando são aquecidos contraem-se e quando esfriam dilatam-se. É o caso da água, quando está submetida à pressão atmosférica normal (1 atm) e entre 0°C e 4°C . Mas estes casos são exceções e, embora tenham também a sua importância, não serão estudados neste capítulo.

Porque é que isso acontece? Lembre-se que, quando aquecemos uma substância, estamos a aumentar a agitação das suas moléculas e a fazer com que elas se afastem umas das outras, aumentando, logicamente, o espaço entre si. Para uma molécula é mais fácil, quando está a vibrar com mais intensidade, afastar-se das suas vizinhas do que aproximar-se delas. Isso acontece por causa da maneira como agem as forças moleculares no interior da matéria.

Se o espaço entre as moléculas aumenta, o volume final do corpo também aumenta.

Quando esfriamos uma substância, ocorre exactamente o inverso: diminui a agitação interna das mesmas, o que faz com que o espaço entre as moléculas diminua, ocasionando uma diminuição do volume do corpo.

Se o espaço entre as moléculas diminui, o volume final do corpo também diminui.

Comprovação Experimental da Dilatação Térmica

Dilatação linear ou do comprimento dos sólidos:

Numa tábua de madeira grossa espete dois pregos, A e B, de modo a que, no espaço entre eles, possa passar, horizontalmente e bem à justa, um terceiro prego, C. Aqueça este prego e tente fazê-lo passar entre os outros dois. Explique o que aconteceu. Deixe o prego C

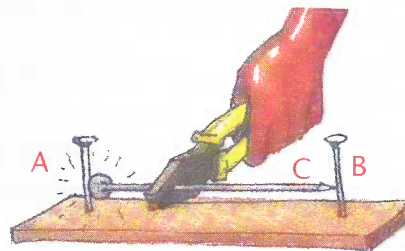


Fig. 1.12 - Corpos aquecidos aumentam de comprimento

arrefecer até atingir a temperatura ambiente (inicial) e tente, novamente, fazê-la passar entre os outros dois. Descreva e explique o que observou.

Conclusão: os corpos, ao serem aquecidos, sofrem um aumento de comprimento e ao serem arrefecidos sofrem uma diminuição do comprimento.

Dilatação superficial dos sólidos: Com um arame, faça um anel circular do diâmetro de uma moeda de modo a que, à temperatura ambiente, ela consiga passar pelo aro.

Aqueça a moeda e tente fazê-la passar pelo aro. Observe e explique o que aconteceu. Deixe a moeda arrefecer até atingir a temperatura ambiente (inicial) e tente, novamente, fazê-la passar pelo arame. Descreva e explique o que observou.

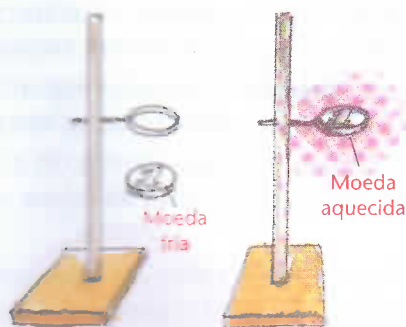


Fig. 1.13 - Corpos aquecidos aumentam de superfície

Conclusão: os corpos, ao serem aquecidos, sofrem um aumento de superfície.

Dilatação volumétrica ou cúbica dos sólidos: Com um arame, faça um anel circular do diâmetro de uma esfera metálica de modo a que, à temperatura ambiente, ela consiga passar por este aro. Aqueça a esfera e tente fazê-la passar pelo anel. Observe e explique o que aconteceu.

Deixe a esfera arrefecer até atingir a temperatura ambiente (inicial) e tente, novamente, fazê-la passar pelo aro metálico. Descreva e explique o que observou.

Dilatação volumétrica ou cúbica dos líquidos:

Assim como os sólidos sofrem dilatação conforme a variação de temperatura, os líquidos também se dilatam consoante a temperatura a que estiverem submetidos. A diferença entre a dilatação térmica dos sólidos e dos líquidos é que os sólidos podem dilatar linear, superficial ou volumetricamente, ao passo que os líquidos apenas dilatam de volumes de acordo com a temperatura a que forem sujeitos.

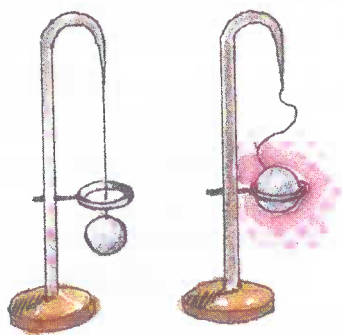


Fig. 1.14 - O calor faz aumentar o volume dos corpos

Geralmente, os líquidos aumentam de volume quando aquecidos e diminuem quando esfriados. Na generalidade, mas tendo em conta que o caso da água é

diferente, podemos afirmar: quando a temperatura diminui, a água diminui de volume tal como os outros líquidos, porém só até aos 4°C . Se a temperatura for inferior a 4°C , o volume aumenta. É por isso que, quando deixamos uma garrafa de vidro fechada e cheia de água no congelador a uma temperatura abaixo de 4°C , ela rebenta, já que a água aumentou de volume e comprime a garrafa.

Dilatação dos gases: A dilatação dos gases é mais acentuada que a dos líquidos e pode ser comprovada com uma experiência bem simples. Num balão de vidro, cheio de ar, introduz-se um tubo dentro do qual há uma gota de óleo, tal como na figura ao lado.

Segurando o balão de vidro como indicado na figura, o calor fornecido pelas mãos é suficiente para aumentar o volume de ar e deslocar a gota de óleo.

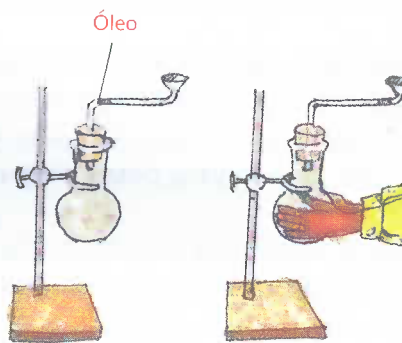


Fig. 1.15 - Gases aquecidos dilatam

Conclusão

Os corpos, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos, ao serem aquecidos sofrem um aumento de volume, o que nos permite afirmar que o calor dilata os corpos.



ATIVIDADES

1. Explique porque é que, nas linhas de caminho de ferro, existe um pequeno espaço entre dois carris.
2. Uma chapa metálica tem um pequeno orifício circular no centro. Aquecendo a chapa, o diâmetro do orifício aumenta, diminui ou mantém-se? Justifique a resposta.
3. Um frasco de vidro possui uma "rolha", também de vidro, que não sai. Explique que procedimento adoptaria para conseguir abrir o frasco.
4. Segurando um termómetro de mercúrio na mão fechada durante alguns minutos, notará que o mercúrio sobe ao longo do tubo. Explique porquê.

Conceito de Calor

Quando dois corpos a temperaturas diferentes são colocados em contacto térmico, verifica-se que, após certo tempo, ambos adquirem a mesma temperatura, denominada **temperatura de equilíbrio térmico**. Durante o processo que conduz ao equilíbrio da temperatura, a agitação das partículas de *A* diminui, isto é, a temperatura de *A* diminui. A agitação das partículas de *B* aumenta, isto é, a temperatura de *B* aumenta. Nessas condições, podemos dizer que a energia de agitação (energia térmica) de *A* transfere-se para *B*. A energia térmica de *A*, ao fluir espontaneamente para *B*, recebe o nome de calor.

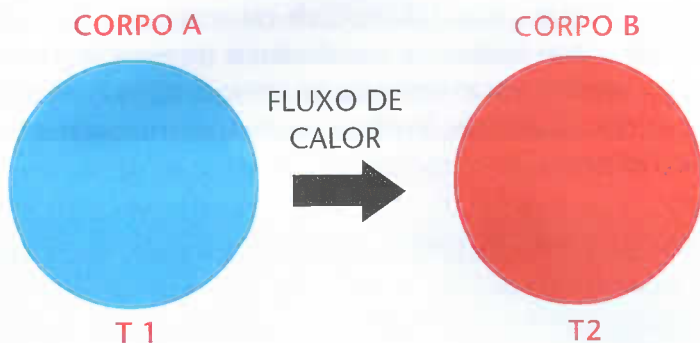


Fig. 1.16 - Quando dois corpos A e B, com temperaturas T_1 e T_2 , respectivamente, estão em contacto, há um fluxo de calor do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. Tomemos, como exemplo, $T_1 > T_2$

O exemplo acima dado permite-nos afirmar que o calor flui espontaneamente dos corpos quentes para os corpos frios até que as temperaturas se igualem. Assim, conclui-se que o calor é uma forma de energia em trânsito entre dois corpos a temperaturas diferentes, que flui espontaneamente do corpo a temperatura mais elevada para o corpo a temperatura menos elevada.

O calor (Q) é a energia transferida de um corpo para o outro, à custa da diferença de temperatura existente entre eles. É incorrecto afirmar que um corpo tem mais calor que outro, visto que o calor é uma forma de transferir energia de um sistema para outro, sem transporte de massa, e que não corresponde à execução de um trabalho mecânico. A unidade do Sistema Internacional (SI) para calor é o joule (J), embora habitualmente seja utilizada a *caloria* (cal).

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

Todo o corpo tem uma certa quantidade de energia interna, que está relacionada com o movimento contínuo dos átomos ou moléculas que o constituem e com as forças interactivas entre essas partículas.

Os sólidos, líquidos e gases apresentam constante movimento (vibrações) dessas partículas. A soma das vibrações de um corpo constitui a energia térmica do mesmo. Esta energia interna é directamente proporcional à temperatura do objecto.

Quando dois corpos ou fluidos a diferentes temperaturas entram em interacção (por contacto ou radiação, o que veremos a seguir), eles trocam a energia interna até alcançarem o equilíbrio térmico, isto é, até que as suas temperaturas sejam iguais. A quantidade de energia transferida enquanto houver diferença de temperatura é a quantidade Q de calor trocado, se o sistema se encontrar isolado de outras formas de transferência de energia. Os processos através dos quais se verifica a transferência de energia sob a forma de calor entre dois corpos para os outros são três. Verifiquemos experimentalmente como esses processos se concretizam:

Condução: É o modo pelo qual o calor é transferido, através de um meio material (devido ao movimento das moléculas ou átomos), para o corpo vizinho. A principal característica da condução é a transferência de energia sem a transferência de matéria, ocorrendo, assim, predominantemente nos sólidos, isto é, em corpos opacos.



Experiência

Com uma das mãos, segure numa das extremidades de uma barra metálica.

Aproxime a outra extremidade da barra de uma chama de lamparina.

Passado algum tempo, a mão que segura a barra terá a sensação de "quente". A rapidez com que o calor é conduzido de uma extremidade a outra da barra depende de vários factores, tais como: comprimento da barra, diferença de temperatura entre as extremidades, espessura e material de que é feita. Existem materiais que são melhores condutores que outros — diz-se que têm uma maior condutibilidade térmica. De acordo com esta propriedade, esses corpos classificam-se de **condutores e isolantes**.

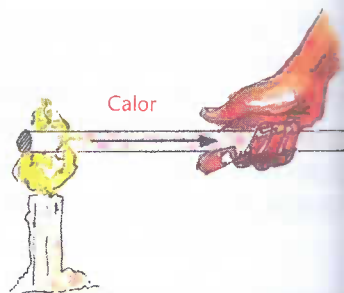


Fig. 1.17 - Condutores de calor

Convecção é a forma de transmissão do calor que ocorre principalmente nos fluidos (líquidos e gases). Ao contrário da condução, através da qual o calor é transmitido de átomo para átomo sucessivamente, na convecção a propagação do calor dá-se através do movimento do fluido que provoca o transporte de matéria. Se um líquido ou um gás é submetido a alguma forma de aquecimento, a densidade ou massa volumétrica diminui.

O fluido menos denso, aquecido, sobe, e o fluido mais denso, mais frio, desce. É a este movimento (movimento ou deslocamento) que provoca a transferência de calor que se dá o nome de convecção.

Quando uma certa massa de um fluido é aquecida, as suas moléculas passam a mover-se mais rapidamente, afastando-se, em média, umas das outras. Como o volume ocupado por essa massa fluida aumenta, a mesma torna-se menos densa. A tendência dessa massa menos densa no interior do fluido como um todo sofrer um movimento de ascensão, ocupando o lugar das massas do fluido que estão a uma temperatura inferior. A parte do fluido mais fria (mais densa) move-se para baixo, tomando o lugar que antes era ocupado pela parte do fluido anteriormente aquecido.

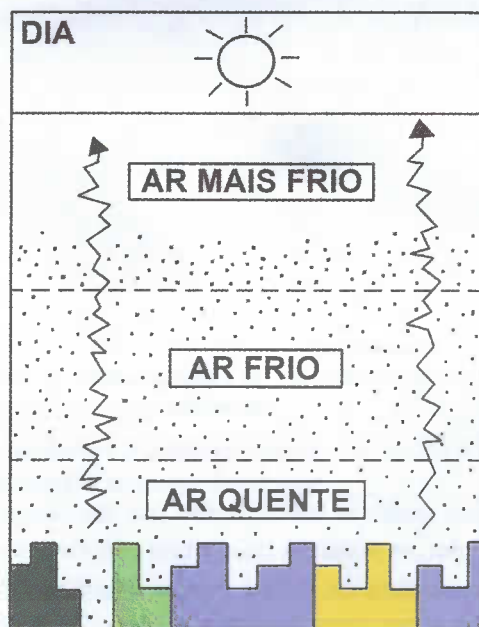


Fig. 1.18 - Correntes de convecção

Esse processo repete-se inúmeras vezes enquanto se mantiver o aquecimento, dando origem às chamadas **correntes de convecção**. São as correntes de convecção que mantêm o fluido em circulação.

As janelas de uma sala situam-se, geralmente, na parte superior para permitir a entrada do ar frio que, por ser mais denso que o ar quente, tende a descer, enquanto o ar quente tende a subir.

Radiação: Radiação é o nome que se dá à transmissão de energia através do espaço. Este processo de transmissão de calor não depende da presença de um meio material, podendo ocorrer através do vácuo. A energia solar, por exemplo, chega até nós dessa forma.

A energia transmitida deste modo é denominada **energia radiante** e apresenta-se na forma de **ondas eletromagnéticas**, assim como as ondas de rádio, as microondas, a luz visível, a radiação ultravioleta (UV), os raios X e os raios gama. A transferência de calor por radiação é efectuada pelos **raios infravermelhos**. Qualquer objecto liberta energia radiante. Os objectos sujeitos a uma maior temperatura libertam mais energia radiante que os objectos que encontram a uma menor temperatura.

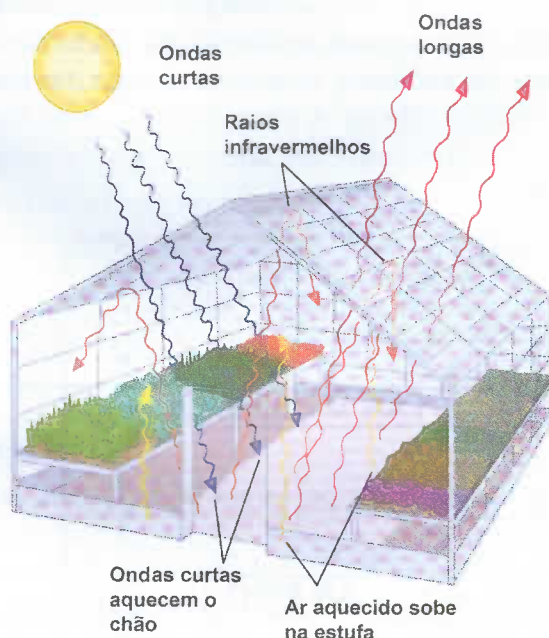


Fig. 1.19 - Radiação

Podemos assim concluir que: na transmissão por condução, o calor propaga-se devido à agitação molecular, enquanto na convecção há um deslocamento da própria massa, líquida ou gasosa, sob a forma de correntes de fluido. Ao contrário das duas formas anteriores, na propagação do calor por radiação não há intervenção da matéria.



ACTIVIDADES



1. O uso de chaminés para escape de gases quentes provenientes da combustão é uma aplicação do processo térmico de:
a) convecção b) condução c) radiação d) absorção
2. Em qual dos meios o calor se propaga por convecção?
a) madeira b) água c) vidro d) vácuo
3. No Inverno, usamos roupas de lã, visto a lã:
a) ser uma fonte de calor. b) ser um bom absorvente de calor.
c) ser um bom condutor de calor. d) impedir que o calor do corpo se propague para o meio exterior.
4. Uma pessoa agachada perto de uma fogueira é aquecida mais significativamente por:
a) Condução b) convecção c) condução e radiação d) radiação
5. O sentido de transmissão de calor entre dois corpos depende:
a) dos seus estados físicos. b) das suas quantidades de calor.
c) das suas temperaturas. d) dos seus calores específicos.
6. Quando o calor se propaga num corpo sólido, temos:
a) aumento da vibração das moléculas por condução.
b) um aumento das moléculas no corpo.
c) uma movimentação das moléculas do corpo.
d) um aumento de calor no corpo.
7. Selecione a alternativa que preenche as omissões das afirmações seguintes:
I - O calor do Sol chega até nós por _____.
II - Uma moeda bem polida fica _____ quente do que uma moeda revestida de tinta preta, quando ambas são expostas ao sol.
III - Numa barra metálica aquecida numa extremidade, a propagação do calor dá-se para a outra extremidade por _____.
a) Radiação - menos - convecção b) Convecção - mais - radiação
c) Radiação - menos - condução d) convecção - mais - condução
8. As correntes de convecção podem ocorrer nas seguintes substâncias:
a) água, ar e ferro b) água, ar e óleo
c) gelo, água e vapor de água d) madeira, ar e oxigénio

Capacidade Térmica de um Corpo e Calor Específico de uma Substância



Experiência

Use dois ou mais corpos da mesma massa, mas de materiais diferentes, por exemplo, um cilindro de ferro de 100 gramas e um outro cilindro de cobre, também com a massa de 100 g. Mergulhe-os num recipiente com água.

Aguarde alguns minutos até que os cilindros e a água estejam em equilíbrio térmico.

Meça depois a temperatura inicial da água e dos cilindros (note que os três corpos devem estar à mesma temperatura, pois estão em equilíbrio térmico).

Aqueça, durante 5 minutos, a água com os dois cilindros nela mergulhados.

A seguir meça, separadamente, a temperatura de cada cilindro.

Observará que, embora tenham recebido a mesma quantidade de calor, os cilindros não se encontram à mesma temperatura.



Fig. 1.20 - Cilindros

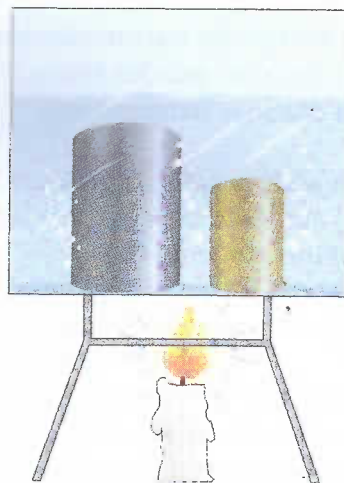


Fig. 1.21 - Aquecimento de água e cilindros

Conclusão

Fornecendo a mesma quantidade de calor a massas iguais de substâncias diferentes, estas não alcançam a mesma variação de temperatura.

Capacidade térmica chama-se capacidade térmica ou **capacidade calorífica (C)** à grandeza física que determina a variação térmica de um corpo ao receber determinada quantidade de calor. O **valor da capacidade térmica é correspondente à quantidade de calor necessária para elevar a temperatura do corpo em uma unidade de variação de temperatura**. A unidade usada no SI é J/K (Joule por Kelvin). Para a medição da capacidade térmica, também é muito usada a unidade caloria por grau centígrado (**cal/°C**).

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \Leftrightarrow Q = C \cdot \Delta T$$

A capacidade térmica caracteriza o corpo e não a substância que o constitui. Por isto dizer que:

- dois corpos de massas e de substâncias diferentes podem possuir a mesma capacidade térmica.
- dois corpos de massas diferentes e da mesma substância possuem capacidades térmicas diferentes.

A grandeza que caracteriza a substância de que um corpo é feita é o **calor específico da substância (c)**, que é definido como sendo a **quantidade de calor que é necessário fornecer a uma unidade de massa (m) da substância para que ela sofra um aumento de uma unidade da sua temperatura (ΔT)**.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad \blacksquare \quad Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Comparando as duas expressões para o cálculo da quantidade de calor (Q), concluímos que a capacidade térmica de um corpo é igual ao produto do calor específico do material que constitui o corpo pela sua massa: **$C = c \cdot m$**

No Sistema Internacional de Unidades, a quantidade de calor é medida em **Joule (J)**, no entanto, a **Caloria (cal)** também é uma unidade muito usada para medir a quantidade de calor que um corpo absorve ou emite.

Caloria: é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 grama de água de 1°C (de 14,5 °C para 15,5 °C).

Quadro de unidades

		UNIDADES	
Grandeza Física	Símbolo da grandeza	S.I.	Muito freq.
Massa	m	Quilograma (kg)	grama (g)
Quantidade de calor	Q	Joule (J)	Caloria (cal)
Capacidade térmica do corpo	C	Joule por Kelvin (J/K)	cal/°C
Calor específico da substância	c	Joule por quilograma por Kelvin (J/kg.K)	Cal/g.°C
Temperatura inicial	T_0	Kelvin (K)	grau centígrado (°C)
Temperatura final	T	Kelvin (K)	grau centígrado (°C)
Varição da temperatura	$\Delta T = T - T_0$	Kelvin (K)	grau centígrado (°C)

Exercícios Resolvidos

1. Num calorímetro ideal foram colocados 750 gramas de água a 20 °C. Determine a quantidade de calor que deve ser fornecida a essa quantidade de água para que ela entre em ebulição, sabendo que o calor específico da água é de 1 cal/g.°C.

Resolução

Dados: $m = 750 \text{ g}$ $T_0 = 20 \text{ °C}$ $T = 100 \text{ °C}$ (temperatura da ebulição da água) $c = 1 \text{ cal/g.°C}$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \Leftrightarrow Q = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g.°C}} \cdot 750 \text{ g} \cdot (100 - 20) \text{ °C} \Leftrightarrow Q = 60000 \text{ cal}$$

$$\text{Como } 1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J} \Leftrightarrow Q = 60000 \cdot 4,18 = 250800 \text{ J}$$

2. Fornecendo-se 40 Kcal a um corpo com 800 gramas de massa, a temperatura passa de 10 °C para 120 °C. Determine:

- a) o calor específico da substância que constitui o corpo;
b) a capacidade térmica do corpo

Resolução

Dados: $Q = 40 \text{ Kcal} = 40000 \text{ cal}$ $m = 800 \text{ g}$ $T_0 = 10 \text{ °C}$ $T = 120 \text{ °C}$ $c = ?$ $C = ?$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \Leftrightarrow c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \Leftrightarrow c = \frac{40000 \text{ cal}}{800 \text{ g} \cdot (120 - 10) \text{ °C}} \Leftrightarrow c = 0,5 \text{ cal/g.°C}$$

$$C = c \cdot m \Leftrightarrow C = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{g.°C}} \cdot 800 \text{ g} \Leftrightarrow C = 400 \text{ cal/°C}$$



ACTIVIDADES

- Se dois corpos estiverem em equilíbrio térmico com um terceiro, pode-se concluir que:
 - Não existe um fluxo de calor entre os corpos.
 - A temperatura do terceiro corpo aumenta.
 - Os dois corpos cedem calor ao terceiro.
 - Os três corpos estão em repouso.
- Caminhando descalço dentro de casa, ao passar da sala, que tem o chão revestido de tábuas de madeira, para a cozinha, cujo piso é de granito, tem-se a sensação de que o piso da cozinha está mais frio que o da sala. Essa sensação é devido ao facto de:
 - a capacidade térmica do piso de granito ser menor que a das tábuas de madeira;
 - a condutividade térmica do piso de granito ser maior que a das tábuas de madeira;
 - a temperatura do piso da cozinha ser menor que a do chão da sala;
 - o calor específico do granito ser menor que o das tábuas de madeira.
- Um bloco de chumbo recebeu 6120 calorias, tendo a sua temperatura passado de 10°C para 210°C . Determine a capacidade térmica do referido bloco.
- Usando um agasalho de lã, as pessoas sentem-se aquecidas. Isso acontece porque:
 - A lã fornece calor ao corpo.
 - A lã reduz a transferência de calor do corpo para o meio exterior.
 - A lã é boa condutora de calor.
 - A lã impede a transpiração.
- Um bloco de alumínio de 200 g recebeu 4 280 calorias e a sua temperatura variou 100°C . Determine o calor específico do alumínio e a capacidade térmica do bloco.
- Um corpo de 2 kg recebe 8000 J de calor e sofre uma variação de temperatura de 100°C . O seu calor específico é igual a:
 - 40 J/kg $^{\circ}\text{C}$
 - 80 J/kg $^{\circ}\text{C}$
 - 160 J/kg $^{\circ}\text{C}$
 - $4 \cdot 10^5$ J/kg $^{\circ}\text{C}$
- Um aquecedor eléctrico dissipa 560 W de potência, utilizada totalmente para aquecer 1,0 kg de água da temperatura inicial de 20°C para 30°C . Considerando o calor específico da água como $1,0 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ e $1 \text{ cal} =$

4,2 J, o tempo necessário, em segundos, para conseguir essa elevação aproximadamente igual a:

a) 40

b) 45

c) 53

d) 7

8. O gráfico ao lado mostra como a temperatura de um corpo varia em função do tempo, quando aquecido por uma fonte de fluxo constante de 90 calorias por minuto. Sendo a massa do corpo igual a 100 g, determine:

a) o calor específico do corpo, em $\text{cal/g}^\circ\text{C}$.

b) a capacidade térmica do corpo, em $\text{cal}/^\circ\text{C}$.

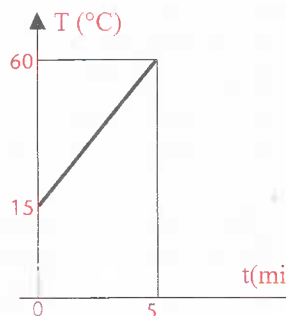


Fig. 1.22

9. Que quantidade de calor deve ser fornecida a um corpo com a massa de 250 gramas para que a sua temperatura passe de 5°C para 55°C , sabendo que o calor específico da substância de que o corpo é feito é $0,25 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$?
10. A um corpo A de massa m e com a capacidade térmica C , forneceram-se Q calorias, tendo-se verificado que a sua temperatura sofreu um aumento de 10°C . Se a um corpo B com a mesma massa m , mas com o dobro da capacidade térmica, fornecermos a mesma quantidade de calor Q , qual será o aumento de temperatura que ele irá sofrer?
11. Um aluno dispõe de 200 gramas de cada um dos seguintes líquidos que se encontram todos à temperatura inicial de 12°C : água, azeite e petróleo. Aqueceu os três líquidos, durante o mesmo tempo, em focos caloríficos iguais e verificou que, após o aquecimento, a água era a que experimentava menor elevação de temperatura e o azeite experimentava a maior elevação de temperatura.
- a) Qual dos líquidos tem maior calor específico? Justifique a resposta.
- b) Qual dos líquidos tem menor capacidade térmica? Justifique a resposta.
12. Um ser humano adulto e saudável consome, em média, uma potência de 120 J/s . Uma "caloria alimentar" (1 kcal) corresponde, aproximadamente, a $4,0 \cdot 10^3 \text{ J}$. Para nos mantermos saudáveis, quantas "calorias alimentares" devemos utilizar, por dia, a partir dos alimentos que ingerimos?
- a) 33 b) 120 c) $2,6 \cdot 10^3$ d) $4,0 \cdot 10^3$
13. Uma fonte calorífica fornece calor, continuamente, à razão de 150 cal/s a uma determinada massa de água. Se a temperatura da água aumentou de 20°C para 60°C em 4 minutos, sendo o calor específico da água $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$,

...ção é cal/g °C, pode-se concluir que a massa de água aquecida, em gramas, foi de:

d) 75 a) 500 b) 600 c) 700 d) 900

14. A tabela abaixo apresenta a massa m de cinco objectos de metal, com os respectivos calores específicos c .

Metal	c (cal/g °C)	Massa(g)
Alumínio	0,217	100
Ferro	0,113	200
Cobre	0,093	300
Prata	0,056	400
Chumbo	0,031	500

$t(\text{min})$

O objecto que tem maior capacidade térmica é o de:

a) alumínio b) ferro c) chumbo d) prata e) cobre

15. Um bloco de cobre ($c = 0,094$ cal/g °C) de 1,2 kg é colocado num forno até atingir o equilíbrio térmico. Nessa situação, o bloco recebeu 12972 cal. A variação da temperatura sofrida, na escala Fahrenheit, foi de:

a) 60 °F b) 115 °F c) 207 °F d) 239 °F

16. Quando misturamos 1,0 kg de água (calor específico = 1,0 cal/g °C) a 70 °C com 2,0 kg de água a 10 °C, obtemos 3,0 kg de água a:

a) 10 °C b) 20 °C c) 30 °C d) 40 °C

17. Um corpo de 400 g e calor específico de 0,20 cal/g °C, a uma temperatura de 10 °C, é colocado em contacto térmico com outro corpo de 200 g e calor específico de 0,10 cal/g °C, a uma temperatura de 60 °C. A temperatura final, uma vez estabelecido o equilíbrio térmico entre os dois corpos, será de:

a) 14 °C b) 15 °C c) 20 °C d) 30 °C

18. Num calorímetro, contendo 200 g de água a 20 °C, coloca-se uma amostra de 50 g de um metal a 125 °C. Verifica-se que a temperatura de equilíbrio é de 25 °C. Desprezando o calor absorvido pelo calorímetro, o calor específico desse metal, em cal/g °C, vale:

a) 0,10 b) 0,20 c) 0,50 d) 0,80

19. Um confeiteiro, preparando um certo tipo de massa, precisa de água a 40 °C para obter melhor fermentação. O seu ajudante colocou em aquecimento água da torneira a 25 °C num recipiente graduado.

Quando percebeu, a água fervia e atingia o nível 8 do recipiente. Para obter a água à temperatura de que precisa, o confeiteiro deve acrescentar, no recipiente, água da torneira até o seguinte nível (despreze trocas de calor entre o recipiente e a água):

- a) 18 b) 25 c) 32 d) 40

20. Desejando tomar um banho tépido a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, uma pessoa colocou na banheira 10 litros de água em ebulição. Que quantidade de água a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ deve acrescentar?
21. Um bloco metálico foi retirado de um forno que se encontrava a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ e mergulhado em água a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sabendo que o equilíbrio térmico ocorreu a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ e que os calores específicos do metal e da água são $0.25\text{ cal/g. }^{\circ}\text{C}$ e $1\text{ cal/g. }^{\circ}\text{C}$, determine a massa de água.
22. Um bloco metálico de 400g, à temperatura de 493 K, foi mergulhado em 1 kg de água a 300 K. Sendo $0.4\text{ cal/g. }^{\circ}\text{C}$ e $1\text{ cal/g. }^{\circ}\text{C}$ os calores específicos do metal e da água, respectivamente, determine a que temperatura ocorreu o equilíbrio térmico.
23. Um calorímetro ideal contém 80g de água a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Um corpo de 50g de massa a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ é colocado no interior do calorímetro. Sabendo que o calor específico da água é de $1\text{ cal/g. }^{\circ}\text{C}$ e que o equilíbrio térmico ocorre a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, determine o calor específico da substância que constitui o corpo.
24. Um calorímetro contém 90 g de água à temperatura ambiente de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Coloca-se no seu interior um bloco de ferro com a massa de 100 g e temperatura de $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Atingido o equilíbrio térmico, o termómetro acusa $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sabendo que os calores específicos da água e do ferro são, respectivamente, $1\text{ cal/g. }^{\circ}\text{C}$ e $0,11\text{ cal/g. }^{\circ}\text{C}$, calcule a capacidade térmica do calorímetro.
25. Um calorímetro de cobre tem uma massa de 200g e contém 680g de água, inicialmente a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Um corpo de alumínio tem uma massa de 500g e está inicialmente a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Introdz-se o corpo de alumínio no calorímetro. Desprezando as trocas de calor com o ambiente, calcule a temperatura do equilíbrio térmico. Dados $C_{\text{cu}}=0.1\text{ cal/g. }^{\circ}\text{C}$ e $C_{\text{Al}}=0,2\text{ cal/g. }^{\circ}\text{C}$.

UNIDADE 2:

Estática dos Sólidos

OBJECTIVOS

O aluno deve ser capaz de:

- Definir o conceito de força.
- Indicar as características de uma força.
- Estimar a localização do centro de gravidade de um corpo.
- Identificar os tipos de equilíbrio:
 - Estável
 - Instável
 - Indiferente
- Calcular o momento de uma força.
- Identificar os diferentes tipos de máquinas simples:
 - A alavanca
 - A roldana fixa e a roldana móvel
 - As associações de roldanas: talha e cadernal
 - O plano inclinado
 - O sarilho
- Aplicar as condições de equilíbrio das máquinas simples na resolução de exercícios associados a situações concretas.
- Explicar a "Regra de Ouro da Mecânica" com base nas máquinas simples.

CONTEUDO

Conteúdos

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

Estática dos Sólidos

2

INTRODUÇÃO

Revisão do conceito de força e seus elementos

Ao longo da 8ª classe, certamente estudou o conceito de força através dos seus efeitos, tendo concluído que *uma força pode modificar o estado mecânico de um corpo ou, ainda, causar-lhe deformações, temporárias ou definitivas.*

Ao analisar várias forças, verificou que todas elas possuem quatro elementos ou características: **ponto de aplicação, direcção, sentido e intensidade (ou módulo)**, quer dizer, uma força é uma **grandeza vectorial**. Por isso deve ser representada por um vector.

Ao sentar, andar, pular e até ao espreguiçar, estamos automaticamente a usar forças e torques musculares de modo a não cair, isto é, mantendo o equilíbrio necessário, instante por instante.

Um aspecto que passa despercebido é que, sem conhecer as leis do equilíbrio, nós nos valem de comportamentos adquiridos que são coerentes com as leis previstas em Física, como as que envolvem menor gasto de energia. Desde pequenos, seguimos maneiras de actuar que sejam mais cómodas ou mais fáceis para atingir um objectivo.

Uma dona de casa, por exemplo, carrega as compras do supermercado num carrinho, que é fácil de puxar ou empurrar. Se ela levar sacolas, certamente as carrega com os braços na vertical e não na horizontal, o que poderia causar um distensão do braço, mas não um torque. Estas escolhas envolvem um menor gasto de energia.

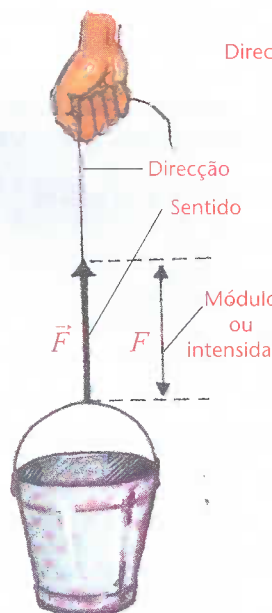


Fig. 2.1 - Força e seus elementos

- Em geral, as estantes e as prateleiras são dotadas de hastes para torná-las mais estáveis. Os marceneiros chamam-lhes de “mão-francesa” ou poleira. Esta trava contribui com um torque, que contrabalança o torque do peso total da prateleira, incluindo o peso dos objectos colocados em cima dela. A igualdade dos torques garante que a prateleira não gire. Muitas pontes e viadutos têm estruturas com mãos-francesas metálicas ou de madeira. Noutras, a própria estrutura em forma de arcos de betão ou de metal prestam o equilíbrio necessário.

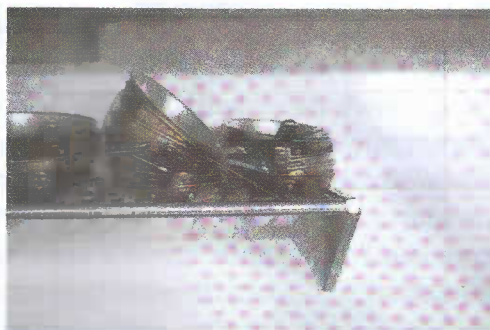


Fig. 2.2 - Mão francesa

- Repare em toda a técnica envolvida na formação de um halterofilista. Ele tem que erguer e manter erguidos os halteres acima da cabeça durante um determinado intervalo de tempo. O equilíbrio do corpo, sem causar lesões, deve ser mantido em cada uma das fases do levantamento.



Fig. 2.3 - Um halterofilista



Fig. 2.4 - Crianças baloiçando

Quando as crianças vão ao parque infantil, uma das suas brincadeiras preferidas é a de se manterem em equilíbrio no baloiço. Para tal, mesmo que intuitivamente, elas aplicam forças que se compensam a cada instante, garantindo o equilíbrio.

A Estática é o ramo da mecânica que estuda as condições de equilíbrio dos corpos sujeitos à acção de forças. Divide-se em: **estática do ponto material**, quando consideramos o corpo como uma partícula na qual toda a massa e peso se concentram num único ponto – o centro de gravidade; e em **estática do corpo rígido**, onde o corpo rígido é uma combinação de um grande número de partículas que ocupam posições fixas, umas em relação às outras.

Centro de Gravidade de um Corpo

O **centro de gravidade** é um ponto muito especial e desempenha um papel importante na análise do equilíbrio de corpos sólidos. Qualquer objecto se comporta como se todo o peso do corpo estivesse concentrado nele. O centro de massa é também o centro de gravidade de um corpo. O que queremos dizer com isso é o seguinte: como a aceleração da gravidade é praticamente constante, a resultante da força da gravidade sobre cada parte do corpo é, em regiões de pequenas dimensões, equivalente à força peso do corpo como um todo se aplicada no centro de massa.

Isso simplifica muito a análise quando a força peso estiver envolvida. Todo o efeito da força peso pode ser simulado pela aplicação do peso do corpo como um todo no centro de massa (ou centro de gravidade).

Determinação experimental do centro de gravidade de um corpo

Uma forma simples de encontrar o centro de massa de um corpo é o método de pendura.

Repare na Fig. 2.5. Marcam-se vários pontos fixos numa parede: A, B e C.

Com um piónés, prende-se o corpo ao ponto A.

No início, o corpo balança até se equilibrar e parar.

Quando parar, traça-se uma linha vertical que passa pelo ponto de suspensão (Fig. 2.5a).

Em seguida, suspende-se o corpo do ponto (B), (Fig. 2.5b)

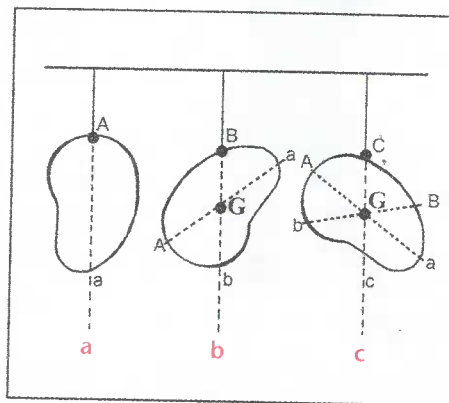


Fig. 2.5 - a), b), c)
Determinação do centro de gravidade

Quando o corpo parar de balançar, risca-se uma linha vertical passando pelo novo ponto de suspensão (B).

O centro de massa do corpo da figura está no cruzamento das duas linhas passadas (G). No caso de objectos bidimensionais, basta pendurar por dois pontos, mas no caso de objectos tridimensionais é necessário pendurar pelo menos em três pontos.

O centro de massa de corpos com forma geométrica simples e material homogêneo é fácil de ser encontrado, pois está no centro geométrico; no caso de uma esfera, está exactamente no centro. No caso do planeta em que vivemos, o centro de massa está no centro da Terra. No caso de um anel, o centro de massa não pertence ao corpo. Analise a figura abaixo que evidencia alguns exemplos de corpos com os respectivos centros de massa.

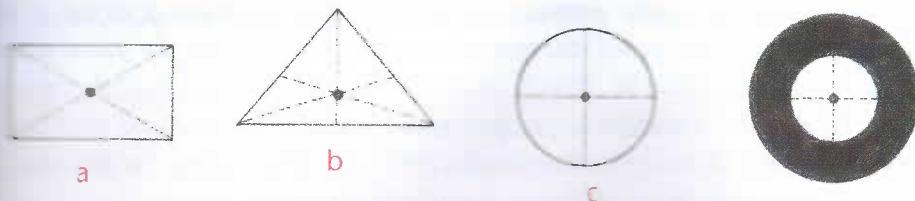


Fig. 2.6 - Determinação do centro de massa

O centro de gravidade de um corpo é o ponto no qual se pode considerar concentrada toda a massa do corpo e, consequentemente, onde actua a força da gravidade.

Considere agora o seguinte: uma placa de centro de gravidade CG é suspensa pelo ponto O (Fig. 2.7).

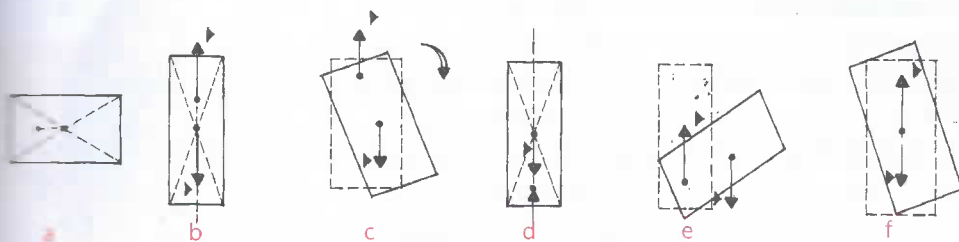


Fig. 2.7 - Corpo apoiado

Na posição de equilíbrio, as forças que agem sobre a placa são o peso \vec{P} , aplicado no centro de gravidade CG, e a força de suspensão \vec{F} , aplicada em O. Nessas condições, \vec{F} e \vec{P} devem ser opostos. Para isso, o ponto de suspensão O e o centro de gravidade CG devem pertencer à mesma recta vertical (Fig. 2.7b).

Deslocando-se ligeiramente a placa da posição de equilíbrio, girando-a em torno de O e abandonando-a em seguida, ela tende a retornar à posição original.

Nesse caso, dizemos que o **equilíbrio é estável** (Fig. 2.7c).

No equilíbrio estável, o centro de gravidade CG está abaixo do ponto de suspensão O.

Se o centro de gravidade estiver acima do centro de suspensão, o equilíbrio é **instável** (Fig.2.7d). Deslocando-se ligeiramente a placa da posição de equilíbrio, girando-a em torno de O e abandonando-a em seguida, ela afasta-se ainda mais da posição de equilíbrio (Fig.2.7e).

Quando o centro de gravidade coincide com o ponto de suspensão, diz-se que o equilíbrio é **indiferente**, pois afastando-se a placa da posição de equilíbrio girando-a em torno de O, ela permanece em equilíbrio na nova posição (Fig.2.7f).

Existem três tipos de equilíbrio:

Estável — quando o ponto de suspensão está acima do centro de gravidade do corpo: o corpo tende a retornar à posição inicial.

Instável — quando o ponto de suspensão está abaixo do centro de gravidade do corpo: o corpo não retorna à posição inicial.

Indiferente — quando o ponto de suspensão coincide com o centro de gravidade do corpo: o corpo mantém-se em equilíbrio em qualquer posição.

Condições de equilíbrio de um corpo apoiado

Esta experiência consiste em tentar manter em equilíbrio um corpo apoiado, verificando em que condições esse corpo manterá ou não esse mesmo equilíbrio. Como corpo, vamos usar uma caixa de fósforos apoiada sobre uma régua que funciona como uma rampa. Dependendo da inclinação da régua e da massa colocada na caixa, esta poderá tombar ou não. A fim de evitar que a caixa deslize pela rampa improvisada, fixaremos um pequeno obstáculo na régua, que poderá ser um alfinete preso com fita adesiva ou um pedaço de lixa fixada sobre a superfície da rampa. Coloquemos em seguida a caixa sobre a rampa, conforme a Fig. 2.8.

Se a rampa tiver uma pequena inclinação, nada acontece com a caixa, porque teremos a própria rampa a impedir que ela deslize para trás. Essa situação não mudará enquanto a força peso actuar dentro da superfície sobre a qual a caixa está apoiada. Entretanto,

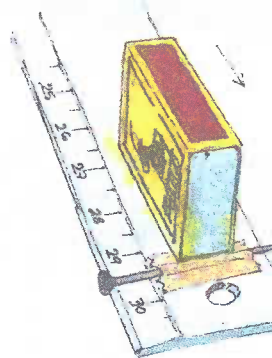


Fig. 2.8

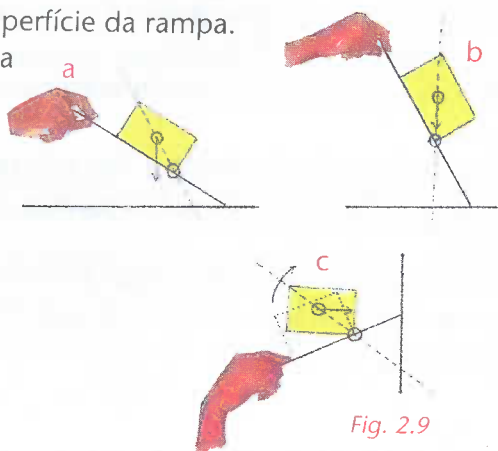


Fig. 2.9

equilíbrio. Se aumentarmos uma maior inclinação à régua, veremos a caixa tombar. Porquê?
 Porque a força peso passará a actuar fora dessa superfície, onde nada irá evitar
 a caixa de virar. A Fig. 2.9b ilustra a situação descrita.

Quando a vertical que passa pelo centro de gravidade cair fora da base de sustentação, o corpo perderá o equilíbrio.

Se quisermos aumentar a inclinação da rampa e ainda assim manter a caixa apoiada sobre ela, precisaremos de encontrar um modo de "deslocar" a força peso para dentro da superfície de contacto. Como se pode conseguir? Através da mudança de posição do centro de gravidade: se colocarmos carga dentro da caixa, o centro de gravidade do sistema todo será deslocado mais para baixo. Com isso, conforme se pode verificar na Fig. 2.10b, a inclinação da régua poderá ser bem maior do que antes.

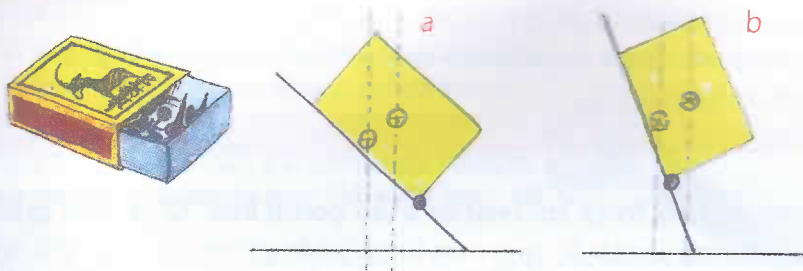


Fig. 2.10

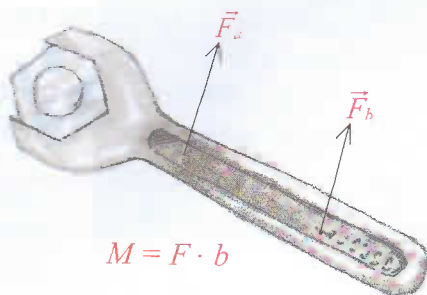
Para que um corpo apoiado num plano permaneça em equilíbrio, é necessário que:

- * a linha vertical que passa pelo seu centro de gravidade caia dentro da base de sustentação;
- * a resultante de todas as forças que agem no corpo seja nula.

Momento de uma força em relação a um ponto fixo

Quando tentamos desapertar um parafuso com o auxílio de uma chave, aplicamos a força na extremidade desta e não próximo do ponto de rotação do parafuso.

Isto acontece porque quanto maior for a distância entre o ponto de rotação do parafuso e o ponto de aplicação da força, maior será a sua eficácia.



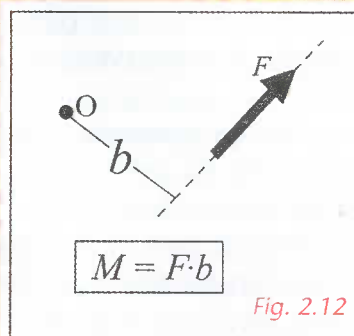
$$M = F \cdot b$$

Fig. 2.11

No caso representado na Fig. 2.11, se aplicarmos, no ponto A, a força \vec{F}_A , terá de ser maior que a força \vec{F}_B aplicada no ponto B.

Definição 1: chama-se “braço” de uma força em relação a um ponto fixo, à distância mais curta entre a linha de acção da força e o referido ponto fixo.

Definição 2: chama-se “momento” de uma força em relação a um ponto fixo, ao produto do módulo da força F pelo seu braço b em relação ao dito ponto fixo.



No sistema internacional de unidades, o momento de uma força é medido em **N.m**, uma vez que a força mede-se em Newton (N) e o braço é medido em metros (m).

O momento de uma força em relação a um ponto fixo “O” é uma grandeza física, que caracteriza a rotação que essa força pode provocar no corpo onde é aplicada, tendo em conta que o ponto de rotação é o ponto fixo. Desta forma, se a força considerada não produzir rotação, o seu momento será nulo.

Resumo:

- O Momento de uma força em relação a um ponto fixo é igual ao produto da intensidade da força pelo seu braço em relação a esse ponto. $M = F \cdot b$
- O Momento de uma força em relação a um ponto fixo é a grandeza física que caracteriza a rotação que essa força pode provocar, tendo como ponto de rotação o referido ponto fixo.
- Quando uma força não produz nenhum efeito de rotação, mas apenas efeitos de translação, o Momento dessa força é nulo.
- Quanto maior for o braço da força em relação a um ponto fixo, maior é o Momento dessa força em relação a esse ponto.
- Em equilíbrio, a soma dos Momentos da potência e da resistência deve ser igual a zero.
- No SI de unidades, o Momento de uma força é medido em **N.m** (não confundir esta unidade com a unidade de trabalho, *Joule*)

ATIVIDADES

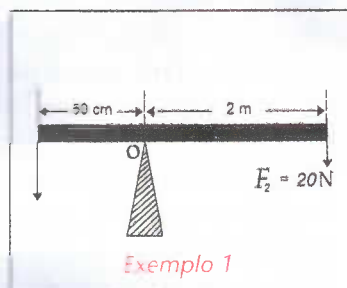
1. A figura ao lado representa uma barra AB, apoiada num ponto "O", onde nas suas extremidades estão aplicadas duas forças.

a) Qual das duas forças tem maior momento em relação ao ponto "O"?

Justifique a resposta.

b) Calcule o momento da força $F_2 = 20\text{ N}$ em relação ao ponto fixo "O".

c) Qual deve ser o módulo da força F_1 para que o seu momento seja igual ao da força F_2 ?



Exemplo 1

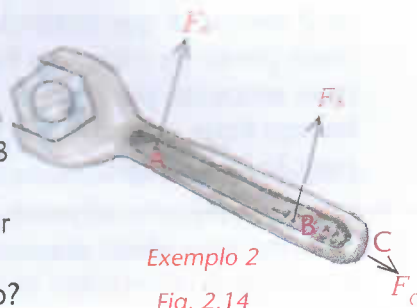
Fig. 2.13

2. André, Bernardo e Carmina, na tentativa de apertarem um parafuso, aplicaram as forças $F_a = F_b = F_c = 30\text{ N}$, como mostra a figura. O ponto "O" é o ponto de rotação do parafuso. Sabe-se que $OA = 20\text{ cm}$; $AB = 30\text{ cm}$.

a) Qual dos três aplicou a força com maior eficácia? Justifique a resposta.

b) Qual das três forças tem momento nulo? Justifique a resposta.

c) Calcule o momento de cada uma das forças em relação ao ponto "O".



Exemplo 2

Fig. 2.14

3. Coloque-se diante de uma porta aberta e tente fechá-la aplicando a sua força:

I – junto à maçaneta;

II – no centro da porta;

III – junto à dobradiça.

a) Em qual das três situações foi mais fácil fechar a porta?

b) Justifique a resposta anterior.

4. Um senhor tentou desapertar os parafusos da roda do carro empregando a chave A. Ao observar a dificuldade que o pai tinha para desapertar os parafusos, o filho, aluno da 9ª classe, usando a chave B, facilmente



Fig. 2.15

realizou a tarefa, para grande espanto do pai.

Explique porque é que o filho desapertou os parafusos da roda mais facilmente que o pai.

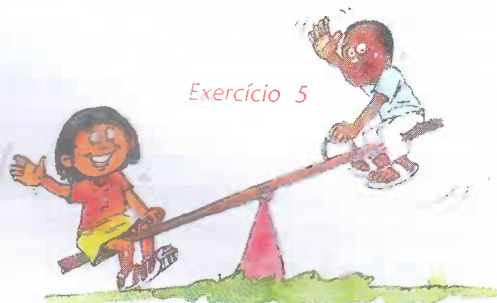
5. Paulo e Milú brincam num parque infantil, tentando equilibrar-se num balanço, como mostra a figura.

Paulo tem o peso de 400 N e Milú tem o peso de 250 N. A distância entre a Milú e o ponto de rotação do balanço é de 2 metros. A que distância desse ponto de rotação o Paulo deve sentar-se, para que o balanço fique em equilíbrio na posição horizontal?



Exercício 4

Fig. 2.16

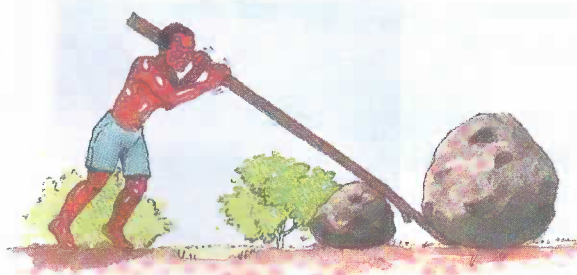


Exercício 5

Fig. 2.17

Máquinas Simples

A palavra **máquina** desperta a imediata lembrança de um mecanismo complicado, pois leva-nos a pensar em algo como a locomotiva de um caminho de ferro, um motor de automóvel, uma máquina de costura, de escrever, de lavar roupa, etc. Toda a máquina, porém, por mais complexa que nos pareça, não passa de uma combinação inteligente de umas poucas de peças isoladas, as quais são denominadas de **máquinas simples**. Basicamente, as duas peças principais são a alavanca e o plano inclinado. Historicamente, citaríamos a existência de quatro: alavanca, roldana, plano inclinado e sarilho.



Alavanca

Fig. 2.18



Alavanca

Fig. 2.19

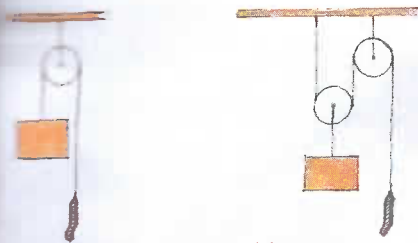


Fig. 2.20 - Roldanas

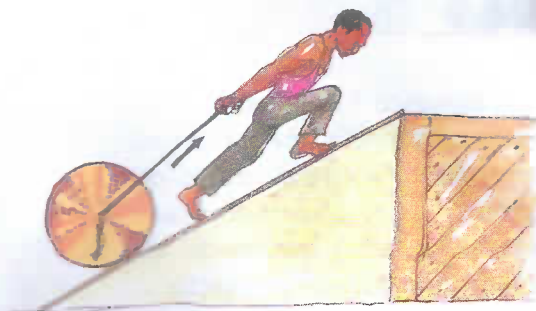


Fig. 2.21 - Plano inclinado

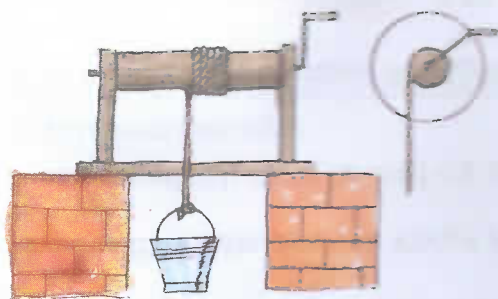


Fig. 2.22 - Sarilho

Cada máquina simples é um dispositivo, tecnicamente de uma única peça, capaz de alterar uma força (em intensidade e/ou direcção e/ou sentido) com o intuito de ajudar o homem a cumprir uma determinada tarefa com um mínimo de esforço muscular. De modo geral, o objectivo da máquina é multiplicar a intensidade de uma força. Se um homem não consegue, por si só, levantar um automóvel de 20000 N (2 toneladas) de peso, uma máquina poderá ajudá-lo nessa tarefa.

A ideia central é, portanto, a seguinte: o operador aplica à máquina uma determinada força (em geral de pouca intensidade, pois resulta do seu esforço muscular e, na maioria dos casos, no máximo igual ao seu peso), que indicaremos por F_p – **força potente** aplicada na máquina pelo operador – e a máquina, devidamente apoiada em algum lugar, transmitirá para a carga (aquilo que caracteriza a tarefa do operador) a força F_r – **força resistente** – resultado da sua função. Ilustremos isso.

Alavanca

A alavanca é uma barra rígida usada com um ponto fixo apropriado (**ponto de apoio ou fulcro**) e serve para multiplicar a força mecânica que pode ser aplicada a um outro objecto (resistência). Numa alavanca há a destacar os seguintes elementos:

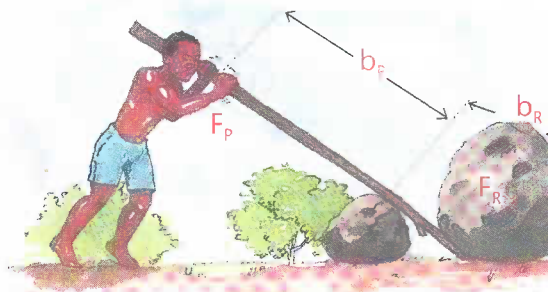


Fig. 2.23

- * **Fulcro ou ponto de apoio(O)**: é o ponto onde a alavanca se apoia, podendo girar em torno dele.
- * **Força resistente (R ou F_R)**: é o peso da carga que pretendemos vencer ou equilibrar.
- * **Força potente (P ou F_P)**: é a força que empregamos para vencer ou equilibrar a força resistente.
- * **braço da resistência (b_R)**: é a distância que vai do fulcro à linha de acção da força resistente.
- * **braço da potência (b_P)**: é a distância que vai do fulcro à linha de acção da força potente.

Dependendo da localização dos seus elementos, a alavanca pode ser:

- a) **Interfixa**: quando o fulcro se encontra localizado entre as forças potente e resistente (F_R).
- b) **Inter-resistente**: quando a força resistente (F_R) se encontra localizada entre o fulcro e a força potente (F_P).
- c) **Inter-potente**: quando a força potente (F_P) se encontra localizada entre o fulcro e a força resistente (F_R).

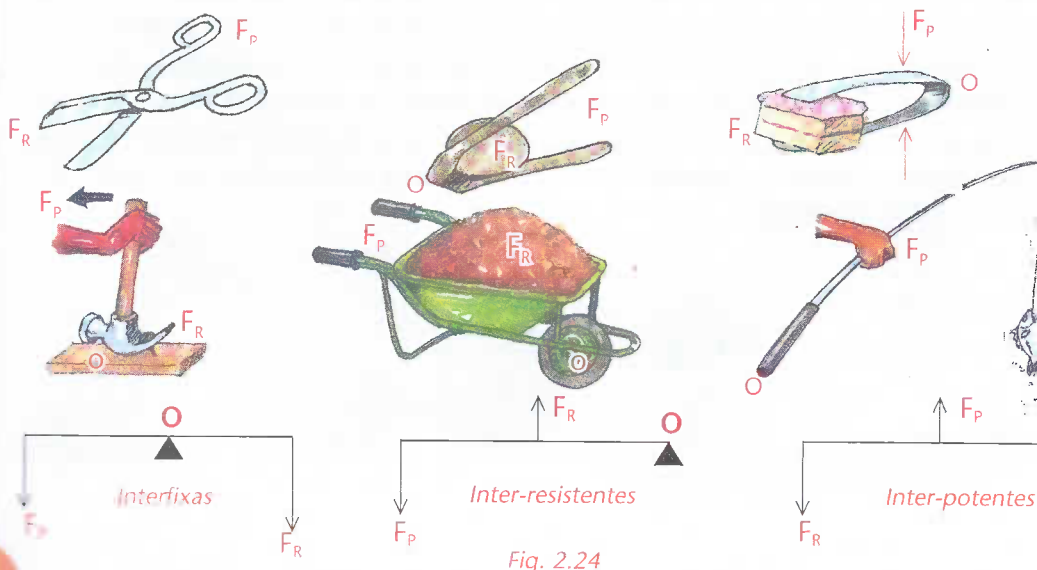


Fig. 2.24



Experiência

Determinação experimental da condição de equilíbrio da alavanca

Material necessário:

- * 1 suporte comum de laboratório;
- * 1 haste de 500 mm;
- * 1 travessão de balança;
- * 1 luva universal;
- * ganchos metálicos;
- * 1 fita métrica ou uma régua (graduadas em centímetros);
- * jogos de massas marcadas.

Procedimento

- * Faça a montagem da aparelhagem de acordo com a figura ao lado.
- * A uma distância de 25 cm do ponto de apoio da alavanca, coloque uma massa de 50 gramas (na parte esquerda do travessão). Passaremos a chamar a esta carga "força resistente – FR".
- * Do outro lado do ponto de apoio, por tentativas e a uma distância de 50 cm, coloque outra massa marcada de modo a que o travessão fique em equilíbrio na posição horizontal. Calcule os Momentos das forças resistente e potente. Anote os dados numa tabela como a que se segue.
- * Repita o ensaio anterior, usando outras massas e outras distâncias.

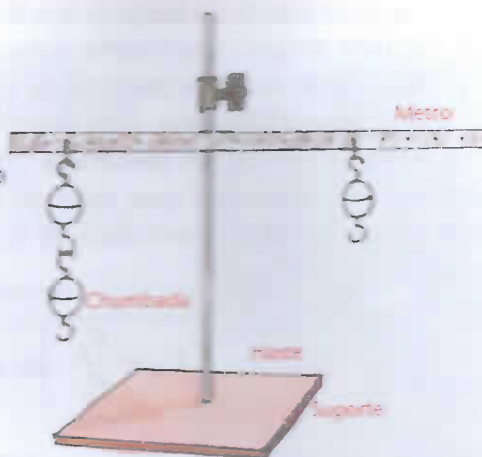


Fig. 2.25

Ensaio Nº	F_R	b_R	F_P	b_P	$M_R = F_R \cdot b_R$ $M_P = F_P \cdot b_P$
1	50 g	25 cm		50	1250
2	100 g	20 cm			
3	200 g	40 cm			
4	250 g	30 cm			
5	300 g	15 cm			

Conclusão: Para que uma alavanca permaneça em equilíbrio, é necessário que o momento da força potente seja igual ao momento da força resistente.

$$M_p = M_R$$

$$F_p \cdot b_p = F_R \cdot b_R$$

Vantagem Mecânica de uma máquina simples

Dada uma máquina simples em operação, devemos desenvolver um conceito que exprima a sua eficiência, ou seja, um factor que indique por quanto ela multiplica a intensidade da força nela aplicada e a re-transmite para a carga. Para toda a máquina simples (ou mesmo para quaisquer associações delas), a razão entre a intensidade da força transmitida pela máquina à carga e a intensidade da força aplicada na máquina, pelo operador (ou outra máquina), recebe a denominação de **vantagem mecânica** (VM). Por outras palavras, a **vantagem mecânica** é o número pelo qual deve ser multiplicada a intensidade da força aplicada para se obter a intensidade de força que a máquina transmite para a carga.

$$V_M = \frac{F_R}{F_p}$$

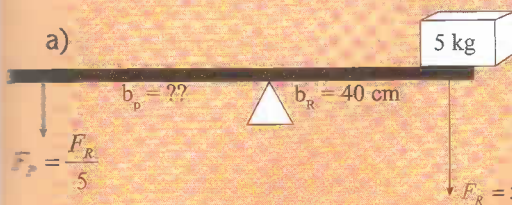
$$V_M = \frac{b_p}{b_R}$$

Como se observa, a **vantagem mecânica** é uma grandeza adimensional. Assim, por exemplo, se $VM = 4$ é a vantagem mecânica de uma dada máquina simples, isto significa que, se aplicarmos uma força de 10 unidades, a máquina transmitirá para a carga uma força de 40 unidades.

Exemplos resolvidos

1. Pretende-se construir uma alavanca interfixa que equilibre um corpo de 5 kg, colocado a 40 cm do ponto de apoio, empregando-se uma força igual a $1/5$ do peso da carga.
 - a) Represente esquematicamente a alavanca.
 - b) A que distância do ponto de apoio deve ser exercida a força potente?
 - c) Determine a vantagem mecânica da alavanca em questão. Explique o seu significado físico.

Resolução



b) Usando a condição de equilíbrio da alavanca:

$$F_P \cdot b_P = F_R \cdot b_R \Leftrightarrow b_P = \frac{F_R \cdot b_R}{F_P}$$

$$\Leftrightarrow b_P = \frac{50 \text{ N} \cdot 40 \text{ cm}}{10 \text{ N}} = 200 \text{ cm}$$

c) $V_M = \frac{F_R}{F_P} \Leftrightarrow V_M = \frac{50 \text{ N}}{10 \text{ N}} \Leftrightarrow V_M = 5$

Significa que, com esta alavanca, poupamos força. Neste caso específico, a força potente que devemos empregar é 5 vezes menor que a força resistente.

2. Observe a figura que mostra um operário transportando, com o auxílio de um carrinho de mão, uma carga composta por 20 kg de areia. Sabe-se que: OA = 60 cm e AB = 90 cm.

- Que tipo de alavanca representa o carrinho de mão? Justifique a resposta.
- Qual deve ser o valor da força mínima exercida pelo operário?
- Determine a vantagem mecânica do carrinho.



Resolução

- a) É uma alavanca inter-resistente, porque a **força resistente** (carga de areia) está entre o **fulcro** (eixo da roda) e a **força potente** (força exercida pelo operário).

b) Dados:

$F_R = 200 \text{ N}$ (peso da carga de areia);

$b_R = 60 \text{ cm}$; $b_P = 150 \text{ cm}$

$$F_P \cdot b_P = F_R \cdot b_R \Leftrightarrow F_P = \frac{F_R \cdot b_R}{b_P} \Leftrightarrow F_P = \frac{200 \text{ N} \cdot 60 \text{ cm}}{150 \text{ cm}} \Leftrightarrow F_P = 80 \text{ N}$$

c) $V_M = \frac{F_R}{F_P} \Leftrightarrow V_M = \frac{200 \text{ N}}{80 \text{ N}} \Leftrightarrow V_M = 2,5$

3. A figura representa um padeiro transportando, com o auxílio de uma pá, um bolo para o forno. Sabe-se que $AB = 1\text{ m}$ e $BC = 50\text{ cm}$.
- Que tipo de alavanca representa a pá do padeiro? Justifique a resposta.
 - Determine o peso do bolo.
 - Calcule a vantagem mecânica desta alavanca.

Resolução

- a) É uma alavanca inter-potente, porque a força potente, aplicada em B, está entre a força resistente (peso do bolo) e o ponto de apoio (A).

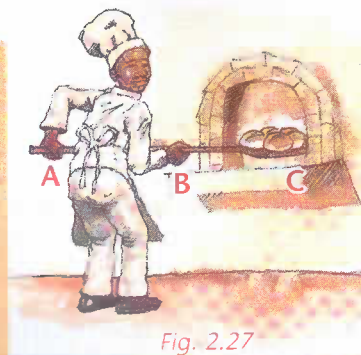


Fig. 2.27

- b) Dados:

$$F_P = 60\text{ N} ; b_P = 1\text{ m} ; b_R = 1,50\text{ m} ; F_R = ?$$

$$F_P \cdot b_P = F_R \cdot b_R \Leftrightarrow F_R = \frac{F_P \cdot b_P}{b_R} \Leftrightarrow F_R = \frac{60\text{ N} \cdot 1\text{ m}}{1,50\text{ m}} \Leftrightarrow F_R = 40\text{ N}$$

$$\text{c) } V_M = \frac{F_R}{F_P} \Leftrightarrow V_M = \frac{40\text{ N}}{60\text{ N}} \Leftrightarrow V_M = \frac{2}{3}$$

Do ponto de vista mecânico, esta alavanca é desvantajosa, porque a força potente que o padeiro deve exercer é maior que a força resistente. Contudo, lembre-se que, do ponto de vista da realização do trabalho, de acordo com a regra de ouro da mecânica, o trabalho realizado pela força potente é igual ao realizado pela força resistente, isto é, o que se ganha em força, perde-se em distância e vice-versa.

ATIVIDADES

1. João e Maria, dois colegas e amigos da 9ª classe, brincam no parque da escola, como mostra a figura. Observe bem a figura e responda:

- Que tipo de alavanca representa o dispositivo com que os dois brincam? Justifique a resposta.
- Determine o valor da distância x , para que os meninos se equilibrem mutuamente.



Fig. 2.28

2. A figura representa uma guilhotina em funcionamento.

- Que tipo de alavanca está representada? Justifique a resposta.
- Determine o valor da força P .
- Calcule a vantagem mecânica desta alavanca.

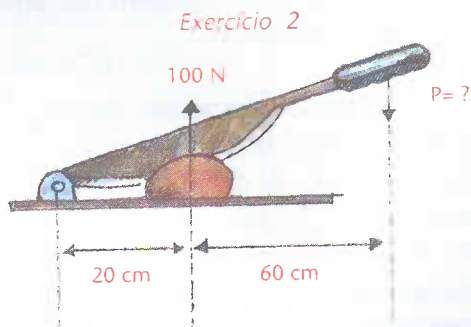


Fig. 2.29

3. Observe atentamente a figura.

- Que tipo de alavanca está representada? Justifique a resposta.
- Determine o valor da distância x , para que a barra OB se mantenha em equilíbrio na posição horizontal.
- Calcule a vantagem mecânica desta alavanca.
- Segundo reza a história, o grande sábio grego da antiguidade, Arquimedes, teria dito um dia: *se me derem um ponto de apoio, eu, com a minha alavanca, levantarei o mundo*. Explique o que Arquimedes quis dizer com esta célebre frase.

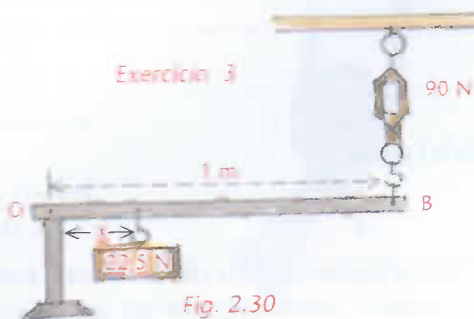


Fig. 2.30

4. A figura representa o pedal do travão de um automóvel.

- Que tipo de alavanca representa este dispositivo? Justifique a resposta.
- Que força será transmitida ao travão, quando o motorista exercer no pedal uma força equivalente a 12 kg?

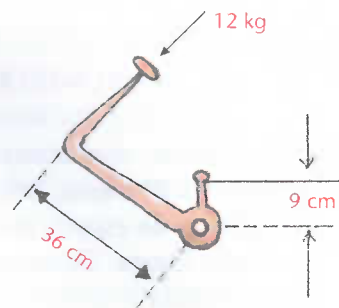


Fig. 2.31

5. A figura representa um certo tipo de alavanca:

- Identifique a alavanca representada. Justifique a resposta.
- Calcule a distância x para que a alavanca permaneça em equilíbrio.
- Determine a vantagem mecânica desta alavanca.

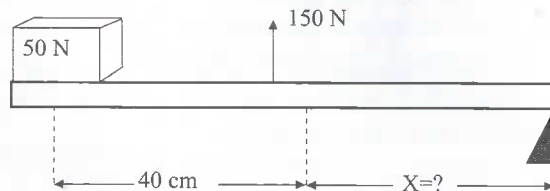


Fig. 2.32

6. Um pescador desportivo apoia a extremidade da cana de pesca na barriga (A). A distância entre esse ponto de apoio e a mão (B) é de 40 cm. A cana tem um comprimento de 2 metros. Se o peixe capturado tiver 8 kg:

- Que tipo de alavanca representa a cana-de-pesca? Justifique a resposta.
- Determine a força que o pescador deve exercer.
- Determine a vantagem mecânica desta cana-de-pesca.

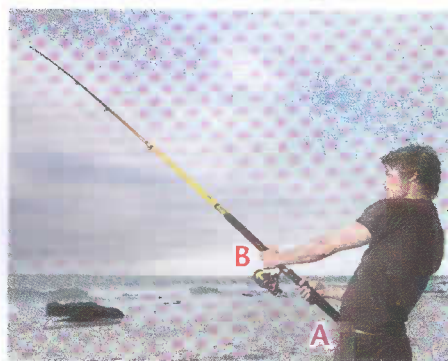


Fig. 2.33

Roldana

Uma **roldana** é um disco móvel em torno de um eixo perpendicular ao seu plano, com um sulco chamado **gola** ou **garganta** no seu contorno periférico e a cujo eixo se liga uma peça chamada **alça**, destinando-se, isolada ou associada a outras, a elevar objectos pesados.

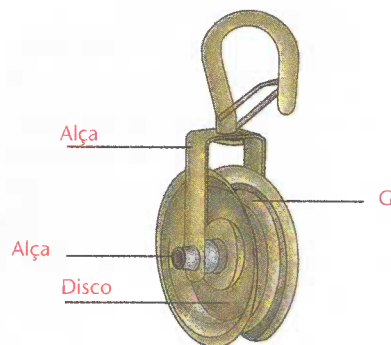


Fig. 2.34 - Roldana

As roldanas têm sido usadas pelo homem desde os tempos mais remotos, sempre com a função de ajudar a elevar objectos pesados:

- nos poços de água, para alterar o sentido da força que puxa o balde;
- na construção civil, para colocar os materiais no cimo das obras;
- nos barcos, para controlar as velas;
- nos elevadores dos poços das minas, para transportar os mineiros e recolher o minério.



Fig. 2.35 - Utilidades das roldanas

Existem dois tipos de roldanas:

A - roldana fixa: é caracterizada por ter a alça presa a um suporte, por exemplo, ao tecto de uma casa, a uma parede, a um mastro, etc.

A sua única utilidade é a de alterar o sentido da força potente, permitindo uma maior comodidade à quem dela se serve.

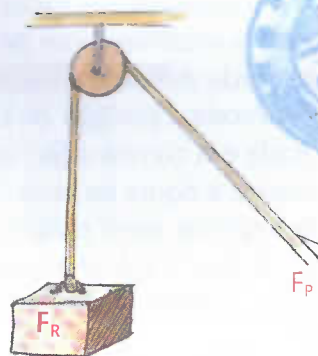


Fig. 2.36 - Roldana fixa

Para que a roldana fixa se mantenha em equilíbrio, é necessário que a força potente seja igual à força resistente.

$$F_P = F_R$$

B - roldana móvel: é caracterizada por ter a alça móvel, podendo subir ou descer, conforme as necessidades.

Permite poupar força pois, como a alça é móvel, cada um dos ramos da corda suporta metade do peso da carga, tal como na figura ao lado.



Fig. 2.37 - Roldana móvel

Para que a roldana móvel se mantenha em equilíbrio, é necessário que a força potente seja igual a metade da força resistente.

$$F_P = \frac{F_R}{2} \quad ; \quad Vant = 2$$

Com a roldana móvel, o que se ganha em força, perde-se em distância e vice-versa.

Associações de roldanas

A roldana móvel raramente é utilizada sozinha, dado o inconveniente de ter que se "puxar" o ramo de corda da força potente para cima, tornando incómoda a posição do utilizador. Normalmente é usada em combinação com uma roldana fixa, como mostra a figura ao lado. Neste caso, como a roldana fixa apenas serve para mudar a direcção da força potente, e a roldana móvel permite a poupança de força, podemos afirmar que:

$$F_P = \frac{F_R}{2} \Leftrightarrow Vant = 2 \Leftrightarrow b_P = 2 \cdot b_R$$

Assim, por exemplo, para que a carga suba um metro, o operador deve puxar dois metros o ramo da corda para baixo.

A **talha**: a talha, como mostram as figuras abaixo, permite o aumento sucessivo de roldanas móveis num sistema.

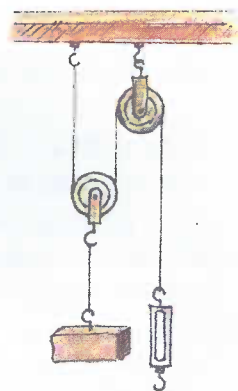


Fig. 2.38 - Roldana móvel combinada com uma roldana fixa

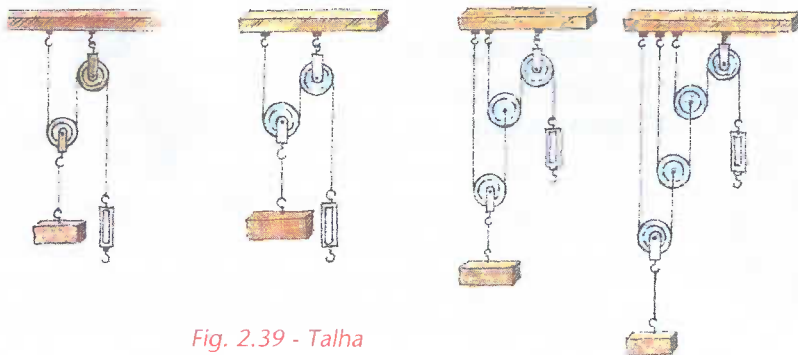


Fig. 2.39 - Talha

$$F_P = \frac{F_R}{2^n}$$

O **cadernal**: é um outro sistema que permite aumentar a vantagem mecânica por meio da associação de várias roldanas fixas (num único bloco) com várias roldanas móveis (todas num mesmo bloco). A figura mostra várias configurações.

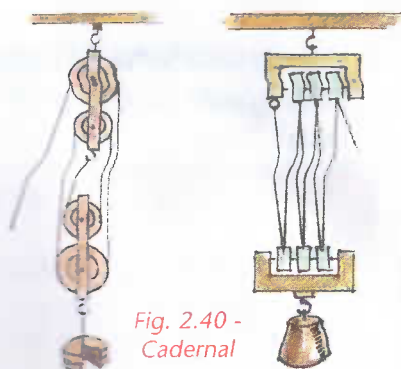


Fig. 2.40 - Cadernal

$$F = \frac{F_R}{n} \quad \text{onde } n \text{ é o número total de roldanas fixas e móveis}$$

Exemplos resolvidos

1. Pretendendo avaliar a vantagem mecânica de várias associações de roldanas, um aluno montou, no laboratório da escola, os esquemas abaixo representados. O corpo suspenso tem 2 kg.

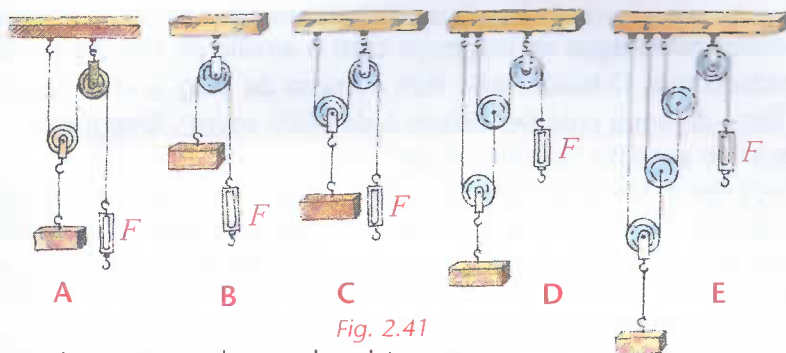


Fig. 2.41

- a) Determine, para cada um dos sistemas, o valor da força F que mantém o equilíbrio.

Resolução

A: Trata-se de uma roldana fixa, por isso, $F = F_R = m \cdot g = 20 \text{ N}$

B: Trata-se de uma roldana móvel, por isso, $F = \frac{F_R}{2} = \frac{m \cdot g}{2} = 10 \text{ N}$

C: Trata-se de uma talha com 1 roldana móvel, por isso, $F = \frac{F_R}{2^n} = \frac{m \cdot g}{2^1} = 10 \text{ N}$

D: Trata-se de uma talha com 3 roldanas móveis, por isso,

$$F = \frac{F_R}{2^n} = \frac{m \cdot g}{2^3} = \frac{20}{8} = 2,5 \text{ N}$$

E: Trata-se de um cadernal com um total de 4 roldanas (2 fixas e 2 móveis),

$$\text{por isso, } F = \frac{F_R}{n} = \frac{m \cdot g}{4} = 5 \text{ N}$$

2. Usando uma talha, um operário eleva um fardo com o peso de 1280 N empregando uma força de 10 N. Quantas roldanas móveis tem essa talha?

Resolução

$$F_R = 1280 \text{ N}$$

$$F_P = 10 \text{ N}$$

$$n = ?$$

$$F_P = \frac{F_R}{2^n} \Leftrightarrow 2^n = \frac{F_R}{F_P} \Leftrightarrow 2^n = \frac{1280}{10} \Leftrightarrow 2^n = 128 \Leftrightarrow 2^n = 2^7 \Leftrightarrow n = 7$$

A talha usada pelo operário possui 7 roldanas móveis.



ACTIVIDADES

- Um lavrador retira água de um poço com o auxílio de um balde e de uma roldana fixa. O balde vazio tem a massa de 4 kg e uma capacidade de 20 litros de água cuja densidade é de 1000 kg/m^3 . Determine:
 - O peso do sistema "balde + água".
 - A força que o lavrador deve exercer na outra extremidade da corda.
 - Se o lavrador tiver de puxar 20 metros de corda para que o balde suba do fundo do poço até a borda, qual é a profundidade do poço? Justifique a resposta.
- Suponha que para elevar o sistema "balde + água" do exercício anterior o lavrador dispunha de uma roldana móvel. Determine a força mínima que o lavrador deve exercer na extremidade livre da corda.
- As figuras que se seguem representam várias máquinas simples constituídas por roldanas.
 - Identifique cada uma das máquinas simples representadas.
 - Calcule, em cada caso, o valor da força F que mantém os sistemas em equilíbrio.
 - Calcule a vantagem mecânica de cada dispositivo.
- Pretende-se construir uma talha que equilibre um fardo com o peso de 400 N aplicando-se

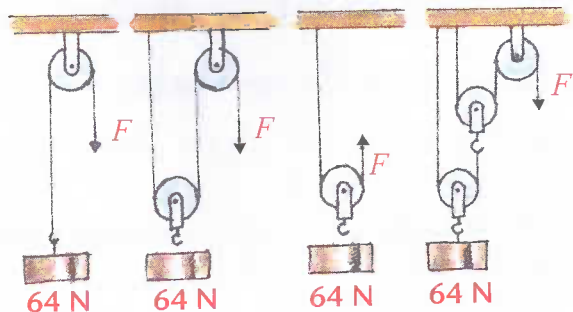


Fig. 2.42

uma força de 50 N. Determine o número de roldanas móveis que essa talha deve ter.

5. Quantas roldanas móveis deve possuir uma talha para que uma força de 20 N equilibre um corpo com a massa de 32 kg?

6. Usando uma força de 5 N na extremidade livre da corda que passa por uma talha com 4 roldanas móveis, que peso se pode equilibrar?

7. Pretende-se construir um cadernal que possa equilibrar um corpo de 8 kg usando uma força de 10 N. Qual deve ser o número de roldanas móveis desse cadernal?

8. O cadernal de um navio possui dois grupos de 5 roldanas cada um, sendo um deles fixo e o outro móvel.

Para se manter em equilíbrio um automóvel de 1,5 toneladas, que força deve ser aplicada na extremidade livre do cabo que passa pelas roldanas desse cadernal?

O Sarilho

O **sarilho** é constituído por um cilindro horizontal — sobre o qual se enrola uma corda — que gira por meio de uma manivela. O sarilho é utilizado para elevar cargas pesadas, como, por exemplo, quando se tira água de um poço.

No sarilho representado na figura abaixo, o braço ou raio da manivela tem o comprimento r_M e o raio do cilindro é r_C . O peso do balde representa a força resistente F_R e a força que devemos aplicar na manivela é a força potente F_P .

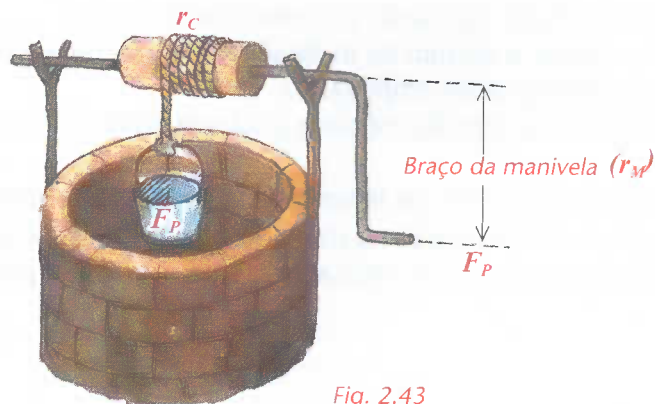


Fig. 2.43

O sarilho mantém-se em equilíbrio quando o momento da força potente é igual ao momento da força resistente:

$$M_p = M_r$$

 \Leftrightarrow

$$F_p \cdot b_p = F_r \cdot b_r$$

 \Leftrightarrow

$$F_p \cdot r_m = F_r \cdot r_c$$

O Plano inclinado

O plano inclinado é basicamente qualquer superfície rígida e plana, inclinada em relação à horizontal, que serve para multiplicar forças, constituindo, portanto, uma máquina simples.

São exemplos de planos inclinados as tábuas que se apoiam no solo por uma das extremidades e num caminhão pela outra, sobre a qual operários empurram a carga. Rampas de acesso a morros ou construções elevadas são também planos inclinados. O princípio do plano inclinado também se encontra em facas, curtalhadeiras, machados, parafusos, porcas, roscas-sem-fim, prensas, escadas rolantes e outros instrumentos.

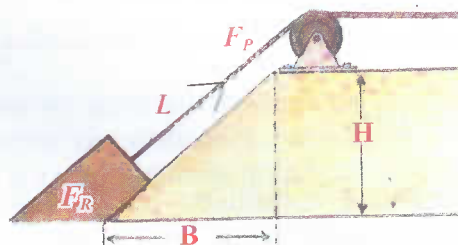
Quem sobe uma ladeira menos inclinada usa, necessariamente, menos energia. No entanto, apesar de ser menos inclinada, é mais comprida.

A vantagem mecânica do plano inclinado depende da relação entre o comprimento e a altura. Os planos inclinados são muito usados para elevar carros, camiões, barris, caixotes, etc.

Observando um plano inclinado, podemos concluir que:

- Quanto menor o ângulo de inclinação, maior a distância a percorrer e menor o esforço a ser empregado.
- Quanto maior o ângulo, menor a distância, mas maior o esforço empregado.

O plano inclinado permite-nos levantar qualquer corpo dispendendo menos força do que o peso desse corpo, porém o trabalho realizado não se altera. O trabalho é o mesmo se elevarmos o corpo verticalmente ou através do plano inclinado.



$$F_p \cdot L = F_r \cdot H$$

Fig. 2.44 - Plano inclinado

Exemplos resolvidos

1. O raio da manivela de um sarilho mede 25 cm, enquanto o raio do cilindro mede 2,5 cm.
Que força deve ser aplicada à manivela do sarilho para que se possa equilibrar um fardo com o peso de 300 N?

Resolução

Dados: $R_M = 25 \text{ cm}$ $R_C = 2,5 \text{ cm}$ $F_R = 300 \text{ N}$ $F_P = ?$

$$F_P \cdot R_M = F_R \cdot R_C \Leftrightarrow F_P = \frac{F_R \cdot R_C}{R_M} \Leftrightarrow F_P = \frac{300 \cdot 2,5}{25} \Leftrightarrow F_P = 30 \text{ N}$$

2. Um plano inclinado tem 10 metros de comprimento e 2 metros de altura. Que força, paralela ao plano inclinado, deve ser aplicada para equilibrar um automóvel com a massa de 2 toneladas?

Resolução

Dados: $L = 10 \text{ m}$ $H = 2 \text{ m}$ $F_R = m \cdot g = 2000 \cdot 10 = 20000 \text{ N}$ $F_P = ?$

$$F_P \cdot L = F_R \cdot H \Leftrightarrow F_P = \frac{F_R \cdot H}{L} \Leftrightarrow F_P = \frac{20000 \cdot 2}{10} \Leftrightarrow F_P = 4000 \text{ N}$$



ACTIVIDADES

1. O comprimento da manivela de um cilindro é de 20 cm e o diâmetro do seu cilindro mede 4 cm. Determine o peso de um balde que é equilibrado pela força de 25 N.
2. O raio da manivela de um sarilho é 8 vezes maior que o raio do cilindro. Que força deve ser aplicada à manivela para equilibrar um corpo com a massa de 240 Kg?
3. Um plano inclinado tem 8 metros de base e 6 metros de altura. Qual é o peso de um automóvel que, neste plano inclinado, é mantido em equilíbrio por uma força de 4800 N?
4. Num plano inclinado com 20 metros de comprimento, um contentor com a massa de 20 toneladas é mantido em equilíbrio por uma força de 40000 N. Determine a altura do plano inclinado

Trabalho nas máquinas simples

Enquanto as máquinas 'trabalham', ou seja, enquanto as forças F_p e F_R efectuam deslocamentos dos seus pontos de aplicação, haverá transferência e transformação de energia mecânica. O trabalho realizado pela força F_p deve aparecer na carga sob alguma forma de energia, devido ao trabalho realizado pela força F_R .

Analisámos anteriormente que uma máquina simples pode multiplicar a intensidade da força nela aplicada. Na verdade, a vantagem mecânica indica-nos o número pelo qual a força potente é multiplicada. Será que numa máquina simples, cuja vantagem mecânica é n , a energia que transfere para o exterior também é multiplicada n vezes?



Experiência

Transferência de energia numa roldana fixa

Utilize o seguinte material:

- uma cartolina preta de tamanho A_3 , onde previamente se traçaram linhas horizontais separadas 5 cm umas das outras;
- uma roldana fixa;
- um corpo com o peso de 20 N, por exemplo;
- fio inextensível.

Monte o dispositivo da maneira mostrada na figura que se segue.

Certifique-se que o corpo de 20 N e a extremidade livre do fio ficam alinhados sobre a mesma linha horizontal.

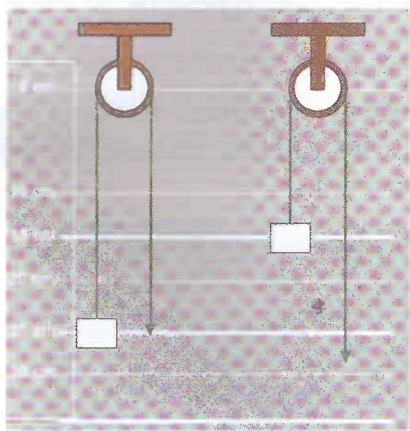


Fig. 2.45

Puxe a extremidade livre do fio 10 cm para baixo. A carga de 20 N deslocar-se-á 10 cm para cima.

Lembre-se que, na roldana fixa, o equilíbrio é estabelecido quando a força potente é igual à força resistente.

- Ao puxar o fio para baixo, a força potente realiza um trabalho:

$$W_P = F_P \cdot b_P \Leftrightarrow W_P = 20\text{ N} \cdot 0,1\text{ m} = 2\text{ J}$$

- Por outro lado, a carga de 20 N, ao ser elevada 10 cm = 0,1 m, transfere para o exterior uma energia igual ao trabalho que a força resistente realiza, isto é:

$$W_R = F_R \cdot b_R \Leftrightarrow W_R = 20\text{ N} \cdot 0,1\text{ m} = 2\text{ J}$$

Conclusão

A roldana fixa cede ao exterior a energia que lhe foi fornecida, isto é, neste dispositivo, a energia não é criada nem destruída, permanecendo constante.



Experiência

Transferência de energia numa roldana móvel

Utilize o seguinte material:

- uma cartolina preta de tamanho A₃, onde previamente se traçaram linhas horizontais, separadas 5 cm umas das outras;
- uma roldana móvel;
- um corpo, por exemplo, com o peso de 20 N;
- fio inextensível.

Monte o dispositivo da maneira mostrada na figura que se segue.

Cerifique-se que o corpo de 20 N e a extremidade livre do fio ficam sob linhas horizontais bem definidas.

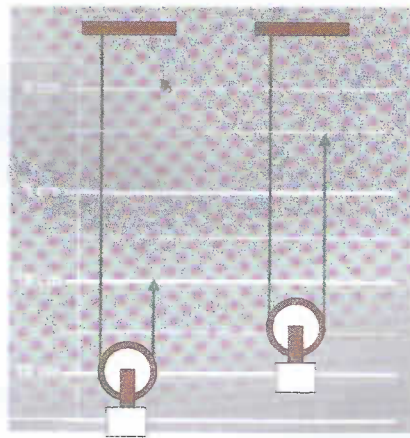


Fig. 2.46

Puxe a extremidade livre do fio 10 cm para cima. Verificará que a carga de 20 N apenas se desloca 5 cm para cima.

Lembre-se que, na roldana móvel, o equilíbrio é estabelecido quando a força potente é igual a metade da força resistente, isto é, neste caso, a força potente é igual a 5 N.

- Ao puxar o fio para cima, a força potente realiza um trabalho

$$W_p = F_p \cdot b_p \Leftrightarrow W_p = 10\text{ N} \cdot 0,1\text{ m} = 1\text{ J}$$

- Por outro lado, a carga de 20 N, ao ser elevada 5 cm = 0,05 m, transfere para o exterior uma energia igual ao trabalho que a força resistente realiza, isto é:

$$W_R = F_R \cdot b_R \Leftrightarrow W_R = 20\text{ N} \cdot 0,05\text{ m} = 1\text{ J}$$

Conclusão

A roldana móvel cede ao exterior a energia que lhe foi fornecida, isto é, neste dispositivo, a energia não é criada nem destruída, permanecendo constante.

Estes resultados experimentais mostram-nos que, nas roldanas, aquilo que se ganha em força perde-se em distância e vice-versa, de tal forma que, do ponto de vista da realização do trabalho, o uso das roldanas não se traduz em qualquer vantagem.

De um modo geral, chegaríamos à mesma conclusão se, no lugar das roldanas, fossem usadas outras máquinas simples como, por exemplo, alavancas, parafusos, planos inclinados, etc.

Conservação do trabalho no plano inclinado

Considere o plano inclinado ao lado, que forma o ângulo α com o plano horizontal.

O operador deve aplicar sobre a carga ($Q =$ força resistente F_R) uma força de intensidade $F_p = P$ (força potente) paralela à inclinação do plano, de modo a transportar a carga do plano horizontal inferior ao plano horizontal superior, isto é, elevá-la de uma altura H .

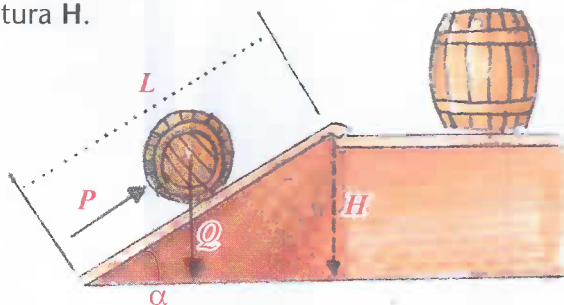


Fig. 2.47

Sendo Q o peso da carga, para elevá-la directa e lentamente, na vertical, o operador deveria aplicar uma força vertical de intensidade igual a Q , ou seja, deveríamos ter P (força potente) = Q (força resistente) para uma elevação vertical directa no deslocamento H . Se, contudo, a carga for empurrada ao longo do plano inclinado, a intensidade da força a ser aplicada (P ou F_P), paralela ao plano inclinado, será menor do que Q ou F_R .

Quer isto dizer que, para cumprir a mesma tarefa de levantar lentamente uma carga a uma altura H , o plano inclinado permite uma "poupança de força" ($P < Q$), mas obriga a um "aumento de distância" ($L > H$), cumprindo-se assim a regra de ouro da mecânica: **o que se ganha em força, perde-se em distância e vice-versa.**

$$F_P \cdot L = F_R \cdot H$$

Sendo assim, podemos generalizar as nossas conclusões, dizendo que:

a) **Nenhuma** máquina pode multiplicar trabalho ou energia. A **regra de ouro ou lei áurea** da Mecânica informa-nos que *nenhuma máquina pode realizar trabalho maior do que aquele que recebe.*

(b) A "economia" em intensidade na força motriz (aplicada, ou potente) implica um "acréscimo" no seu deslocamento: o que se ganha em força, perde-se em distância. Uma máquina simples com $V_M = 2$ tem capacidade de multiplicar a força aplicada por 2, porém, para tanto, o deslocamento dessa força será duas vezes maior que o da força transmitida (força resistente ou resistência).

(c) É comum denominarmos como "trabalho da máquina" o trabalho realizado pela força que ela transmite. É bom lembrar, entretanto, que **trabalho** é um conceito associado a uma força e não a uma máquina.

UNIDADE 3:

Estática dos fluidos

OBJECTIVOS

O aluno deve ser capaz de:

- Explicar o significado da densidade de uma substância.
- Aplicar a fórmula da densidade na resolução de exercícios associados a situações concretas.
- Definir o conceito de pressão.
- Explicar a relação de proporcionalidade entre a pressão, a força exercida e a superfície de apoio.
- Relacionar as diferentes unidades de pressão.
- Definir a pressão hidrostática e explicar os factores de que depende.
- Aplicar a equação fundamental da hidrostática na resolução de exercícios associados a situações concretas.
- Interpretar o Princípio de Pascal.
- Descrever o funcionamento de uma prensa hidráulica.
- Relacionar aplicações de vasos comunicantes.
- Apresentar o Princípio de Arquimedes.
- Aplicar o princípio de Arquimedes na resolução de exercícios associados a situações concretas.
- Descrever o princípio de estabilidade dos corpos.

CONTEÚDOS

- Densidade de uma substância.
- Exercícios de aplicação.
- Pressão exercida por sólidos, líquidos e por gases.
- Exercícios de aplicação.
- Pressão hidrostática e pressão atmosférica (experiência de Torricelli).
- Unidades de pressão: Pascal, atmosfera, bar, cm Hg, mm Hg, 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 manómetros de pressão.
- Princípio de Arquimedes e força de impulsão ou empuxo.
- Condições de flutuação dos corpos.
- Exercícios de aplicação.

Estática dos fluidos

3

INTRODUÇÃO

O comportamento físico de uma partícula sólida pode ser facilmente representado e entendido, porque constitui uma entidade única de tamanho suficiente cujo comportamento pode ser visualizado. Um sólido é uma substância rígida que conserva a sua forma contra forças deformantes externas. A extensão das mesmas observações torna-se mais complexa quando se lida com **fluidos**, já que estamos, neste caso, com efeito, tratando de um conjunto de partículas “virtuais” que não podem ser visualizadas. Usa-se o termo **fluido** para descrever um objecto ou substância que deve estar em movimento para resistir às forças aplicadas externamente. Um fluido escorre sempre quando forças deformantes lhe são aplicadas. Note que, embora a tendência seja imaginar os fluidos principalmente como líquidos, os gases também são fluidos.

Nesta Unidade 3 vamos analisar os princípios físicos, conceitos e exemplos de um fluido em repouso.

Estática dos fluidos ou Hidrostática é o ramo da Física que estuda o comportamento e as propriedades dos fluidos (líquidos e gases) em repouso.

Conceito de densidade de uma substância



Experiência

Para a realização destas actividades, vai necessitar do seguinte material:

- Vários corpos de ferro maciço com a mesma massa (50 gramas, por exemplo), mas com formas diferentes, como pequenos cilindros e cubos.
- Vários corpos maciços de madeira, com a mesma massa dos corpos de ferro (50 gramas), mas com formatos diferentes (cilindros e cubos).

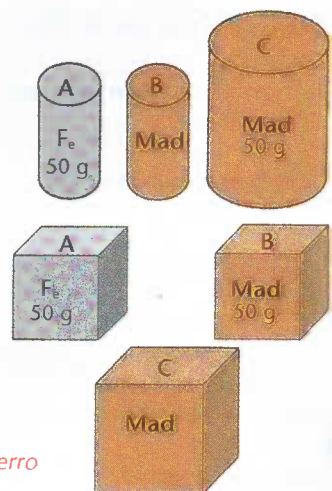


Fig. 3.1 - Corpos de ferro maciço e madeira

- Vários corpos maciços de ferro e de madeira, com o mesmo volume e com o mesmo formato.
- Uma régua graduada em centímetros ou uma proveta graduada.
- Uma balança.



Fig. 3.2 - Régua graduada

- Pegue no cilindro de ferro com 50 g de massa e no cilindro de madeira com a mesma massa. Comparando os seus volumes, certamente verificará que o cilindro de madeira ocupa um volume maior que o de ferro.

- Pegue no cubo de ferro com 50 g de massa e no cubo de madeira com a mesma massa. Comparando os seus volumes, certamente verificará que o cubo de madeira ocupa um volume maior que o de ferro.



Fig. 3.3 - Balança

Conclusão

Massas iguais de substâncias diferentes ocupam volumes diferentes.

- Com a balança, meça as massas de dois cilindros com o mesmo volume, um de ferro e outro de madeira.
- Meça, também, as massas de dois cubos com o mesmo volume, um de ferro e outro de madeira.

Conclusão

Volumes iguais de substâncias diferentes possuem massas diferentes.

- Com a régua graduada, meça as dimensões dos cilindros (raio e altura) e dos cubos (arestas).
- Usando as equações para o cálculo do volume do cilindro ($V_{Cil} = \pi \cdot r^2 \cdot h$) e do cubo ($V_{Cubo} = a^3$), calcule os volumes de todos os cilindros e de todos os cubos.

- Divida a massa (m) dos corpos de ferro pelo seu volume (V). Faça o mesmo em relação aos corpos de madeira.

- Seguidamente, preencha a seguinte tabela.

Corpo	Substância	Massa	Raio	Altura	Aresta	Volume	Cálculo
Cilindro A	Ferro						
Cilindro B	Madeira						
Cilindro C	Madeira						
Cubo A	Ferro						
Cubo B	Madeira						
Cubo C	Madeira						

- Compare as razões $\frac{m}{V}$ dos diferentes corpos.

- Responda às seguintes questões:

a) Para que substâncias a razão $\frac{m}{V}$ é a mesma? _____

b) Dos corpos com a mesma massa (de ferro e de madeira), qual deles apresenta maior valor na relação $\frac{m}{V}$? _____

c) Dos corpos com o mesmo volume (de ferro e de madeira), qual deles apresenta maior valor na relação $\frac{m}{V}$? _____

Definição

Chama-se **densidade** ou **massa específica** de uma substância à massa da unidade de volume dessa substância.

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

Unidades de densidade

No S.I. de unidades, a densidade de uma substância é medida em kg/m^3 , mas muitas vezes que a massa é medida em kg e o volume em m^3 . Uma outra unidade frequentemente usada é o g/cm^3 . A relação entre as duas unidades é a seguinte: $1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$.

Conclusões

- Corpos da mesma substância possuem a mesma densidade, independentemente das suas massas e dos seus volumes.
- Entre dois corpos de substâncias diferentes, mas com a mesma massa, possui maior densidade o corpo com menor volume.
- Entre dois corpos de substâncias diferentes, mas com o mesmo volume, possui maior densidade o corpo com maior massa.

Exercícios resolvidos

- Um fragmento de ferro com a massa de 78 g ocupa um volume de 10 cm^3 .
 - Determine a densidade do ferro em g/cm^3 e em kg/m^3 .
 - Explique o significado físico do valor encontrado na alínea anterior.

Resolução

a) Dados: $m = 78 \text{ g}$; $V = 10 \text{ cm}^3$

Pedido: $\rho = ?$

$$\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow \rho = \frac{78 \text{ g}}{10 \text{ cm}^3} \Leftrightarrow \rho = 7,8 \text{ g/cm}^3$$

Como

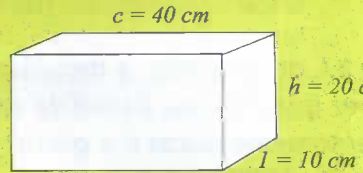
$$1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3 \Leftrightarrow 7,8 \text{ g/cm}^3 = 7,8 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 = 7800 \text{ kg/m}^3$$

b) Significa que um corpo de ferro com o volume de 1 m^3 possui 7800 kg de massa (ou que, um corpo de ferro com o volume de 1 cm^3 possui uma massa de 7,8 g).

- A densidade do alumínio produzido na MOZAL é de 2,7 g/cm^3 .
 - Qual deve ser a massa de um lingote de alumínio com a forma de um prisma rectangular com as seguintes dimensões:
 $\text{comprimento} = 40 \text{ cm}$ $\text{largura} = 10 \text{ cm}$ $\text{altura} = 20 \text{ cm}$

Resolução

O volume do lingote com a forma de um prisma rectangular é igual ao produto de todas as suas dimensões, isto é:



$$V = c \cdot l \cdot h \Leftrightarrow V = 40\text{ cm} \cdot 10\text{ cm} \cdot 20\text{ cm} \Leftrightarrow V = 8000\text{ cm}^3$$

Como a **densidade** é a razão entre a massa (m)

e o volume (V): $\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow m = \rho \cdot V$,

$$m = 2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 8000\text{ cm}^3 \Leftrightarrow m = 21600\text{ g} \Leftrightarrow m = 21,6\text{ kg}$$



ACTIVIDADES

- x 1. Um corpo de chumbo com um volume de 60 cm^3 tem 678 g de massa. Qual é, em g/cm^3 e em kg/m^3 , a densidade do metal?
2. José e Maria, alunos da 9ª classe, numa aula de laboratório decidiram medir a densidade da água destilada. Para tal, procederam da seguinte forma:
 - Com uma balança, mediram a massa de uma garrafa vazia e obtiveram o valor de 200 g ;
 - Com a mesma balança, mediram a massa da garrafa cheia de água destilada e obtiveram o valor de 1250 g ;
 - Com uma proveta, graduada em ml , mediram o volume de água contido na garrafa e obtiveram o valor de 1100 ml ;Qual foi o valor da densidade da água destilada que os dois alunos encontraram?
3. José e Maria, alunos dedicados da 9ª classe, usando uma régua graduada em cm , mediram as dimensões de vários corpos regulares e, com uma balança, mediram as respectivas massas. Em seguida, colocaram os resultados dessas medições na tabela A e, com o auxílio de uma tabela de densidades (tabela B), tentaram descobrir de que material cada corpo era feito.

Tabela A (medições efectuadas)

Corpo	Comprimento (cm)	Largura ou raio (cm)	Altura (cm)	Massa (g)
Cubo	6 cm	6 cm	6 cm	1691,28
Prisma rectangular	25 cm	5 cm	10 cm	2837,5
Esfera	-	4 cm	-	1902,445
Cilindro	-	5 cm	20 cm	12293,1
Pirâmide	-	5 cm	15 cm	3297

Tabela B (densidades)

Substância	Densidade (kg/m ³)
Alumínio	2 700
Cristal	2,8
Carbono (grafita)	2270
Zinco	7100
Aço	7830

Auxilie os dois alunos a descobrir de que material cada um dos corpos é feito.

4. Pretendendo medir experimentalmente a densidade de um fragmento metálico, José e Maria procederam da seguinte forma:

- Com uma balança, mediram a massa do fragmento metálico e obtiveram o valor de 56,85 g;
 - Introduziram água numa proveta, graduada em ml, até ao traço 75;
 - Mergulharam o fragmento metálico na água contida na proveta e verificaram que o nível da água atingia o traço 93.
- Que valor obtiveram para a densidade do metal?

5. Um dado balão de vidro graduado tem 50 g de massa (vazio). Cheio de água destilada a 4 °C, esse balão tem 70 g, e cheio de álcool tem 66 g. Calcule a densidade do álcool.

6. Qual deverá ser o volume de um cubo de alumínio com 20 g de massa? A densidade do alumínio é de $2,7 \text{ g/cm}^3$.
7. Observe as figuras ao lado. Dos dois cubos nela representados, um é de bismuto (densidade $9,72 \text{ g/cm}^3$) e outro de cristal (densidade $2,88 \text{ g/cm}^3$). Ambos têm a mesma massa. O cubo menor tem 2 cm de aresta e o maior, 3 cm
- Qual dos cubos é de cristal? Justifique.
 - Calcule a massa desses cubos.
 - Determine a densidade do bismuto em relação ao cristal.
 - Determine a densidade do cristal em relação ao bismuto.

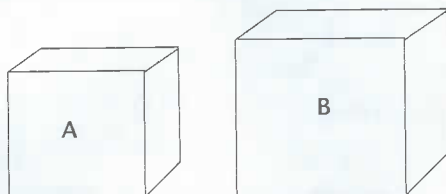


Fig. 3.5

8. Um cubo de cobre com 3 cm de aresta tem 178 g de massa. Sabendo que a densidade do cobre é de $8,9 \text{ g/cm}^3$, responda:
- O cubo é oco ou maciço? Justifique a resposta.
 - Se o cubo for oco, determine o volume da cavidade.
9. Um fio de cobre tem 34 metros de comprimento e 6 mm de diâmetro. Que massa terá? Sabe-se que a densidade do cobre é de $8,9 \text{ g/cm}^3$.
10. Um cilindro é constituído por duas metades, uma de ferro (densidade $= 7,8 \text{ g/cm}^3$) e outra de cobre (densidade $= 8,9 \text{ g/cm}^3$). Sabendo que o raio da base é de 20 cm e que a altura do cilindro mede 40 cm, determine a massa.
11. A figura ao lado representa um cubo com 10 cm de aresta, formado por duas metades, uma de alumínio (densidade $2,7 \text{ g/cm}^3$) e outra de chumbo (densidade $11,4 \text{ g/cm}^3$). Calcule:
- A massa total do cubo.
 - A densidade do chumbo em relação ao alumínio.
 - A densidade do alumínio em relação ao chumbo.



Fig. 3.6



Experiência

Experiência 1

Para a realização desta actividade, vai necessitar do seguinte material:

- duas caixas de cartão com as seguintes dimensões: altura 30 cm, comprimento 50 cm, largura 40 cm.
- Areia da praia ou areia húmida, suficiente para encher as caixas;
- Uma aluna calçada com sapatos de salto alto e fino;
- Um aluno calçado de sapatilhas ou sapatos rasos (o aluno deve ser mais pesado do que a menina).
- Encha as caixas de cartão com a areia e compacte-a bem.
- Solicite à aluna com sapatos de salto alto e fino que se mantenha de pé sobre a areia de uma das caixas.
- Solicite ao aluno de sapatos rasos que se mantenha de pé sobre a areia da outra caixa.
- Solicite aos dois alunos que, com muito cuidado (sem revolver a areia), saiam das respectivas caixas.
- Observe as marcas deixadas na areia por cada um dos alunos.



Fig. 3.7

Responda à questão: Porque é que a aluna, apesar de ser mais leve que o colega, deixou na areia uma marca muito mais profunda?

Experiência 2

Para a realização desta actividade, vai necessitar de:

- uma tábua;
- dois pregos grandes e iguais;
- um martelo.
- Coloque um dos pregos com a ponta virada para baixo sobre a tábua e, com o martelo, aplique uma martelada forte na cabeça do prego.



Fig. 3.8

- Coloque o outro prego com a cabeça virada para baixo sobre a tábua e, com o martelo, aplique uma martelada forte (igual ou mais forte que a anterior) na ponta do prego.

Responda à questão: Porque é que, quando colocado pela ponta, o prego penetra facilmente na madeira, mas quando colocado pela cabeça isso não acontece?

Certamente concluiu, nos dois casos, que o problema reside no facto de os sapatos da menina e a ponta do prego terem áreas de contacto (com a areia e com a madeira) muito menores que a sola dos sapatos do rapaz e da cabeça do prego, respectivamente e, por isso, *exercerem maior força por unidade de superfície.*

Estas duas experiências levam-nos à definição de um novo conceito físico, a **pressão**.

Definição

Chama-se **pressão** à força exercida por unidade de superfície $p = \frac{F}{S}$.

Unidades de Pressão

No S.I. de unidades, a pressão é medida em N/m^2 , porque a força mede-se em Newton (N) e a área da superfície de contacto em m^2 . Em homenagem ao físico francês do séc. XVIII Blaise Pascal, a unidade N/m^2 recebeu o nome de *Pascal* (Pa).

Outras unidades de Pressão

- **Atmosfera** é a pressão exercida por uma coluna de mercúrio com 760 mm altura.
- **Bária** é a unidade de pressão no sistema c,g,s e vale uma dyn/cm^2 .
- **Bar** é um múltiplo da Bária: $1 \text{ bar} = 10^6 \text{ bárias}$.

A tabela a seguir apresenta os valores para as transformações das unidades; exemplo: $1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

	Atmosfera	Pascal	Bária	Bar	milibar	mm Hg
Atmosfera	1	$1,01325 \times 10^5$	$1,01325 \times 10^6$	1,01325	1013,25	760,0
Pascal	$9,869 \times 10^{-6}$	1	10	10^{-5}	0,01	$7,501 \times 10^{-3}$
Bária	$9,869 \times 10^{-7}$	0,1	1	10^{-6}	0,001	$7,501 \times 10^{-4}$
Bar	0,9869	100000	1000000	1	1000	750,1
milibar	$9,869 \times 10^{-4}$	100	1000	0,001	1	0,7501
mm Hg	$1,316 \times 10^{-3}$	133,3	1333	$1,333 \times 10^{-3}$	1,333	1

Exercícios resolvidos

- Considere o seguinte: na primeira experiência, a menina tinha um peso de 400 N e o rapaz tinha um peso de 500 N. Se as superfícies do salto do sapato da menina e da sola do sapato do rapaz forem respectivamente iguais a 2 cm^2 e a 50 cm^2 :
 - Determine, em N/cm^2 , a pressão que cada um dos alunos exerce sobre a areia.
 - Passe para o Sistema Internacional de unidades os valores das pressões encontrados na alínea anterior.

Resolução

a) Dados:

$$P_{\text{menina}} = F_{\text{menina}} = 400 \text{ N}; S_{\text{menina}} = 2 \text{ cm}^2 \quad P_{\text{rapaz}} = F_{\text{rapaz}} = 500 \text{ N}; S_{\text{rapaz}} = 50 \text{ cm}^2$$

$$p = \frac{F}{S} \Leftrightarrow p = \frac{400 \text{ N}}{2 \text{ cm}^2} \Leftrightarrow p = 200 \text{ N/cm}^2 \quad p = \frac{F}{S} \Leftrightarrow p = \frac{500 \text{ N}}{50 \text{ cm}^2} \Leftrightarrow p = 10 \text{ N/cm}^2$$

Repare que, apesar de ser menos pesada do que o rapaz, a menina transmite uma pressão muito maior do que o colega, porque a **pressão é tanto maior quanto menor for a superfície de contacto**.

- Sabe-se que $1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$. Então, a pressão de

$$200 \text{ N/cm}^2 = \frac{200 \text{ N}}{10^{-4} \text{ m}^2} = 2 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

Analogamente, a pressão de

$$10 \text{ N/cm}^2 = \frac{10 \text{ N}}{10^{-4} \text{ m}^2} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

2. Um tanque cilíndrico de plástico com capacidade para 5000 litros de água tem um diâmetro de 2 metros. Determine a pressão que a água exerce sobre o fundo do tanque.

Resolução

Dados: $m_{\text{água}} = 5000 \text{ l} = 5000 \text{ Kg} \Leftrightarrow \text{Peso} = F = m \cdot g = 50.000 \text{ N}$
 $d_{\text{tanque}} = 2 \text{ m} \Leftrightarrow r = 1 \text{ m}$

Pedido: $p = ?$

Como a pressão é a força exercida por unidade de superfície, é necessário determinar a superfície da base do tanque que é circular, uma vez que o tanque é cilíndrico:

$$S = \pi \cdot r^2 \Leftrightarrow S = 3,14 \cdot (1)^2 \Leftrightarrow S \approx 3,14 \text{ m}^2$$

$$p = \frac{F}{S} \Leftrightarrow p = \frac{50000 \text{ N}}{3,14 \text{ m}^2} \Leftrightarrow p \approx 15923,6 \text{ N/m}^2$$



ACTIVIDADES

1. A ponta e a cabeça de um prego têm áreas que correspondem a $0,1 \text{ mm}^2$ e 5 mm^2 , respectivamente. Um aluno pretende introduzir o prego num pedaço de madeira, primeiro, com a ponta virada para baixo e, depois, com a cabeça virada para baixo. Se, nos dois casos, a força da martelada for de 20 N :
- Em qual dos dois casos o prego transmitirá maior pressão sobre a madeira? Justifique a resposta.
 - Determine, em N/mm^2 e em N/m^2 , a pressão transmitida pelo prego em cada um dos casos.
2. Uma costureira, servindo-se de uma agulha cuja ponta tem uma superfície de $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$, exerce uma força de 10 N perpendicular à superfície de contacto. Determine a pressão exercida pela agulha.
3. A figura representa um tijolo com a forma de um prisma rectangular com o peso de 30 N , assente em duas das faces.

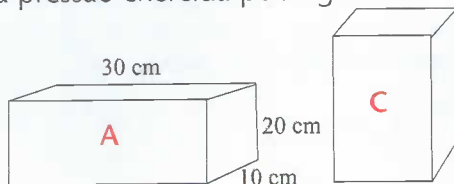


Fig. 3.9

- a) Sobre qual das duas faces, A ou B, o tijolo exerce maior pressão? Justifique a resposta.
- b) Determine a pressão que o tijolo exerce quando apoiado sobre a face A e sobre a face B.
4. Em estradas molhadas, os pneus estriados dos carros dão mais segurança do que os pneus lisos. No entanto, no deserto, convém usar pneus lisos e largos. Explique porquê.
5. A base de uma estátua de mármore tem a área de 10 m^2 . A pressão exercida pela estátua é de $8 \cdot 10^3 \text{ Pa}$. Determine o peso da referida estátua.
6. A figura representa uma porção de cone cuja massa é de $4,5 \text{ kg}$. Os raios das bases, maior e menor, medem 20 cm e 10 cm , respectivamente.
- a) Sobre qual das bases, A ou B, o tronco deve ser assente para transmitir menor pressão? Justifique a resposta.
- b) Determine, em unidades do SI, a pressão que o tronco exerce quando assente sobre cada uma das bases.

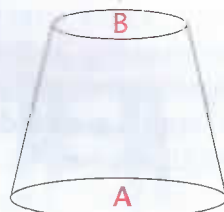


Fig. 3.10

Propriedades dos líquidos



Experiência

Para a realização destas actividades, necessita do seguinte material:

- água (duas garrafas plásticas de 2 litros cada);
- uma proveta graduada com capacidade para $0,5$ litros;
- um copo graduado com a mesma capacidade da proveta;
- garrafas plásticas vazias, com várias formas (garrafa de água, garrafa de óleo, garrafa de vinagre, etc.);
- um pequeno taco de madeira com 2 cm de altura;
- um esquadro a 90° ;
- um fio de prumo.



Fig. 3.11



Fig. 3.12

- Verta para a proveta graduada 0,5 litro de água. Em seguida, verta essa água para o copo graduado.
- Proceda da mesma maneira com as restantes garrafas e verifique que:

Embora o líquido tenha adquirido a forma de cada recipiente (proveta e copo) o seu volume não se altera.

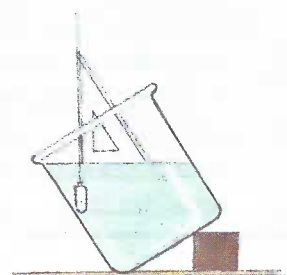


Fig. 3.13

- Coloque um bocado de água num copo (tenha o cuidado de não encher o copo completamente). Coloque-o sobre o tampo horizontal da mesa. Analise bem a superfície livre do líquido. Ela é plana e horizontal.
- Com o auxílio do taco de madeira, incline ligeiramente o copo e, com o auxílio do esquadro e do fio de prumo, verifique que a superfície livre do líquido continua plana e horizontal



A



B

Fig. 3.14

Conclusões

- Os líquidos não têm forma própria. Adquirem a forma do recipiente que os contém.
- Os líquidos têm volume constante.
- A superfície livre de um líquido em repouso é plana e horizontal, independentemente da forma e da posição do recipiente que o contém.



Experiência

Para a realização desta actividade, necessitará do seguinte material:

- uma garrafa plástica com a capacidade de 2 litros;
 - um prego;
 - um banco alto ou uma mesa.
- Com o prego, faça dois orifícios na parede lateral da garrafa plástica, a alturas diferentes.
 - Encha a garrafa com água, tendo o cuidado de manter fechados os orifícios feitos com o prego (com dois dedos).
 - Coloque a garrafa sobre a mesa.
 - Destape os orifícios (retire os dedos) e observe o jacto de líquido que sai de cada um deles: *são perpendiculares à parede da garrafa e o jacto de água que sai do orifício que se encontra a maior profundidade tem maior alcance.*



Fig. 3.15



Fig. 3.16



Fig. 3.17

Conclusões

- a) Os líquidos exercem forças de pressão **perpendiculares** às paredes do recipiente que os contém.
- b) A pressão que um líquido exerce num determinado ponto é tanto maior quanto maior for a altura/profundidade a que esse ponto se encontra. Pontos de um líquido que se encontrem no mesmo plano horizontal (mesma profundidade) sofrem a mesma pressão por parte do líquido.

Cálculo da pressão hidrostática

Considere um líquido contido num recipiente cilíndrico, como mostra a figura.

A força de pressão sobre o fundo do recipiente é igual ao peso do líquido: $F = P = m \cdot g$

A massa do líquido é igual ao produto da densidade pelo volume que ele ocupa: $m = \rho \cdot V$

Como o volume do cilindro é dado pela relação $V = S \cdot h$, podemos concluir que:

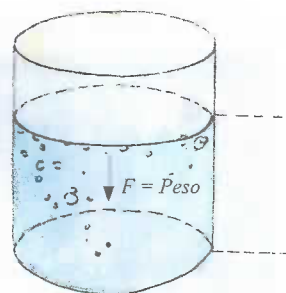


Fig. 3.18

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

$$\Leftrightarrow p = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{S} \Leftrightarrow$$

$$p = \frac{\rho \cdot S \cdot h \cdot g}{S} \Leftrightarrow$$

A pressão que um líquido exerce num ponto do seu interior, situado à altura h , é igual ao produto da sua densidade, pela aceleração da gravidade do local, pela altura h a que o referido ponto se encontra.

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

Unidades da pressão hidrostática

No S.I. de unidades, as grandezas envolvidas no cálculo da pressão hidrostática são:

ρ - densidade do líquido medida em kg/m^3 ;

g - aceleração da gravidade do local, medida em m/s^2 . Para o nosso planeta, como sabemos, o seu valor médio é $g = 9,8 \text{ m/s}^2$;

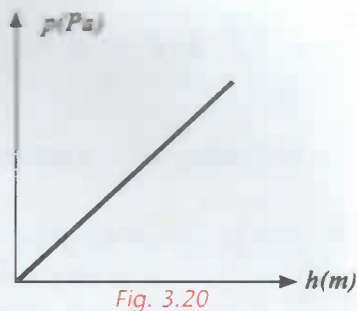
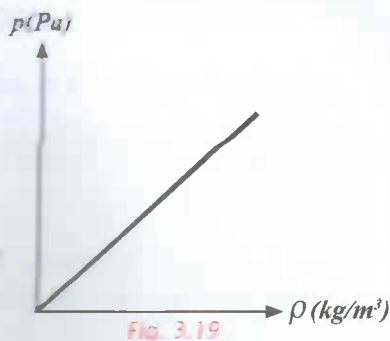
h - altura/profundidade (distância vertical entre a superfície livre do líquido e o ponto considerado) medida em metros (m);

p - pressão hidrostática, medida em $\text{N/m}^2 = \text{Pascal (Pa)}$.

Factores de que depende a pressão hidrostática

Utilizando a equação $p = \rho \cdot g \cdot h$, que permite determinar a pressão exercida por um líquido num determinado ponto, conclui-se que a pressão hidrostática depende dos seguintes factores:

- **Densidade “ ρ ” do líquido:** quanto maior for a densidade do líquido, maior será a pressão por ele exercida, isto é, a **pressão é proporcional à densidade do líquido**.
- **altura “ h ” do líquido:** quanto maior for a altura do líquido, maior será a pressão por ele exercida, isto é, a **pressão é proporcional à altura do líquido**.
- **Aceleração da gravidade “ g ”:** a pressão hidrostática é maior nos lugares de maior aceleração da gravidade. Assim, por exemplo, na Terra ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$), a pressão que um líquido exerce num ponto é maior do que a pressão que o mesmo líquido exerce nesse ponto se o sistema for transportado para a Lua ($g = 1,6 \text{ m/s}^2$).



Exercícios resolvidos

1. Encontrou-se um navio afundado a 48 m de profundidade. Sendo 1000 kg/m^3 a densidade da água e $9,8 \text{ m/s}^2$ a aceleração da gravidade local, determine a pressão a que fica submetido um mergulhador que visite o navio.

Resolução

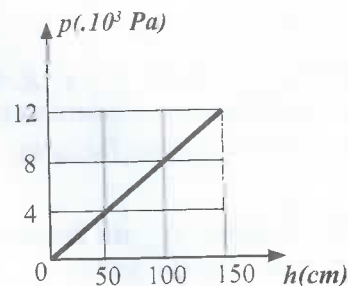
Dados: $h = 48 \text{ m}$; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$; $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ **Pedido:** $p = ?$

$$p = \rho \cdot g \cdot h \Leftrightarrow p = 1000 \cdot 9,8 \cdot 48 \Leftrightarrow p = 470400 \text{ Pa}$$

2. O gráfico representa a variação da pressão em função da profundidade h , num recipiente que contém um determinado líquido.

Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$:

- Determine a densidade do líquido.
- Se o líquido tivesse uma densidade de 1200 kg/m^3 , a que profundidade a pressão seria de 12000 Pa ?



Resolução

a) Analisando o gráfico, facilmente se percebe que, a uma profundidade de $150 \text{ cm} = 1,5 \text{ m}$, a pressão hidrostática é de $12 \cdot 10^3 \text{ Pa}$.

$$p = \rho \cdot g \cdot h \Leftrightarrow \rho = \frac{p}{g \cdot h} \Leftrightarrow \rho = \frac{12 \cdot 10^3 \text{ Pa}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,5 \text{ m}} \Leftrightarrow \rho = 800 \text{ kg/m}^3$$

b) Dados: $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$; $g = 10 \text{ m/s}^2$; Pedido: $h = ?$

$$p = \rho \cdot g \cdot h \Leftrightarrow h = \frac{p}{\rho \cdot g} \Leftrightarrow h = \frac{12000 \text{ Pa}}{1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \Leftrightarrow h = 1 \text{ m}$$



ATIVIDADES

- Calcular a pressão que exerce uma determinada quantidade de petróleo sobre o fundo de um poço, se a altura do petróleo no poço for igual a 10 m e a sua densidade 800 kg/m^3 . Considere a aceleração da gravidade do local $g = 10 \text{ m/s}^2$.
- Considere a fossa das Marianas, no Pacífico, o ponto mais profundo dos Oceanos, com cerca de 10 km de profundidade, em que a densidade relativa da água do mar é $1,08 \text{ g/cm}^3$.
 - Calcule a pressão que a água exerce no ponto mais profundo da fossa das Marianas.
 - Calcule a força de pressão exercida sobre um submarino com uma área exterior de 200 m^2 .

3. Dois amigos, Pedro e João, nadam numa piscina com 5 metros de profundidade. Pedro nada 1 metro abaixo da superfície livre do líquido, ao passo que João nada a 1 metro do fundo da piscina. Sabendo que a densidade da água é de 10^3 kg/m^3 e que a aceleração da gravidade local é de 10 m/s^2 , determine a que pressão o líquido submete cada um dos nadadores.
4. Um grande reservatório contém dois líquidos, A e B, cujas densidades são, respectivamente, $0,70 \text{ g/cm}^3$ e $1,5 \text{ g/cm}^3$ (veja a figura abaixo). Considere $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Qual é, em N/m^2 , a pressão exercida pelos líquidos nos pontos (1), (2) e (3)?

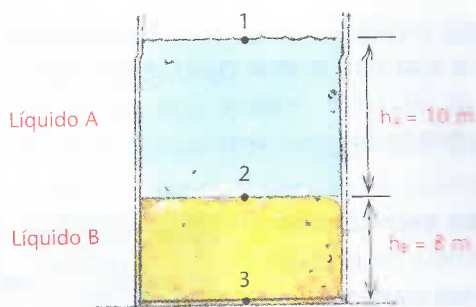


Fig. 3.22

5. Os três vasos, V_1 , V_2 e V_3 , têm bases com a mesma área. Os vasos estão cheios de líquidos, L_1 , L_2 e L_3 , até à mesma altura. As pressões no fundo dos vasos são p_1 , p_2 e p_3 , respectivamente.

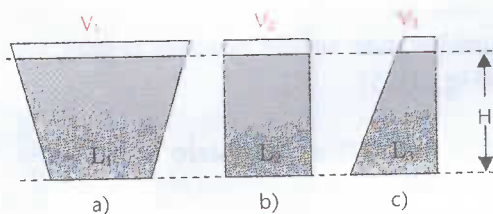


Fig. 3.23

Com relação a essa situação, será correcto afirmar que:

- a) $P_1 = P_2 = P_3$ somente se os líquidos L_1 , L_2 e L_3 forem idênticos?
- b) $P_1 = P_2 = P_3$ quaisquer que sejam os líquidos L_1 , L_2 e L_3 ?
- c) $P_1 > P_2 > P_3$ somente se os líquidos L_1 , L_2 e L_3 forem idênticos?
- d) $P_1 > P_2 > P_3$ quaisquer que sejam os líquidos L_1 , L_2 e L_3 ?

Pressão Atmosférica

A Terra está envolvida por uma camada de ar, denominada atmosfera, constituída por uma mistura gasosa cujos principais componentes são o oxigénio e o azoto. A espessura dessa camada não pode ser perfeitamente determinada, porque, à medida que aumenta a altitude, o ar torna-se cada vez mais rarefeito, isto é, com pouca densidade (Fig. 3.24).



Fig. 3.24 - Atmosfera da Terra

O ar, sendo composto por moléculas, é atraído pela força de gravidade da Terra e, portanto, tem peso. Se o ar não tivesse peso, escaparia da Terra, dispersando-se pelo espaço. Devido ao seu peso, a atmosfera exerce pressão, chamada **pressão atmosférica**, sobre todos os objectos nela imersos.

Podem-se realizar diversas experiências para demonstrar a existência da pressão atmosférica, todavia a mais famosa é a dos **Hemisférios de Magdeburgo**, realizada pelo físico alemão Otto von Guericke. Esse cientista construiu dois hemisférios metálicos que se encaixavam perfeitamente. Ao remover o ar do interior da esfera assim formada, os hemisférios mantinham-se unidos, não sendo possível separá-los nem com o esforço de diversos cavalos (Fig. 3.25).



Fig. 3.25 - Experiência de Magdeburgo

A pressão atmosférica segura um cartão colocado sobre um copo com água: ponha o cartão sobre um copo cheio de água, deixe-o molhar e inverta o copo rapidamente. Em princípio, a água não deve derramar imediatamente, pois a pressão atmosférica segura o cartão (Fig. 3.26).

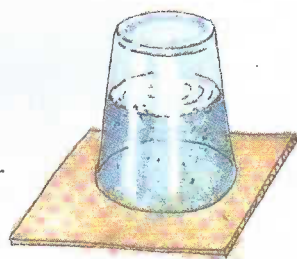


Fig. 3.26

O ar parte uma vareta de madeira: coloque uma vareta longa de madeira não muito dura sob uma folha de jornal aberta sobre uma mesa (veja a figura). Dê um golpe seco e rápido sobre a ponta da vareta com um objecto sólido. A vareta deve quebrar sem que o jornal se levante significativamente. A pressão atmosférica sobre o jornal impede que a ponta da vareta abaixo dele se levante (Fig. 3.27).

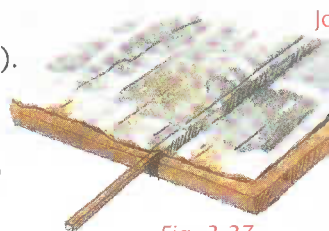


Fig. 3.27

Medição da pressão atmosférica: experiência de Torricelli

A pressão atmosférica não pode ser calculada da mesma forma que a pressão de uma coluna de líquido, porque, para efectuar este cálculo, temos de saber a altura da atmosfera e a densidade do ar. Contudo, a atmosfera não tem um limite definido e a densidade do ar, que é máxima junto à superfície da Terra, diminui à medida que aumenta a altitude.

No século XVII, Torricelli levou a cabo uma experiência que permitiu conhecer o valor da pressão atmosférica.

Enche-se completamente com mercúrio um tubo de vidro de cerca de 1 m de comprimento, com uma das extremidades fechada (Fig. 3.28a).

Seguidamente vira-se o tubo, cuja extremidade aberta está fortemente tapada, e mergulha-se numa tina de mercúrio, abrindo-se esta extremidade apenas quando estiver mergulhada no mercúrio da tina, como mostra a Fig. 3.28b).

Parte do mercúrio sai do tubo para a tina e a coluna de mercúrio que fica no tubo tem uma altura de 760 mm (76 cm). No espaço dentro do tubo que se encontra acima do mercúrio, não há ar, apenas vácuo. Obtém-se o mesmo resultado mesmo que o tubo esteja inclinado (Figs. 3.28b e c).

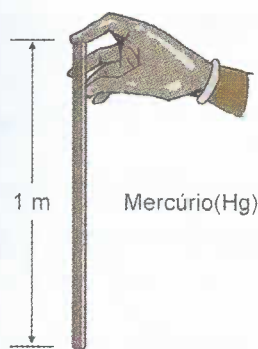


Fig. 3.28a

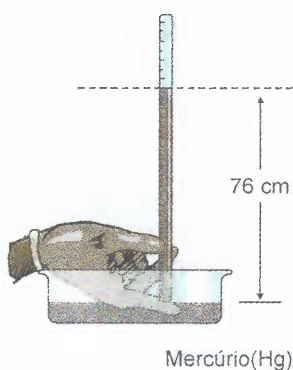


Fig. 3.28b

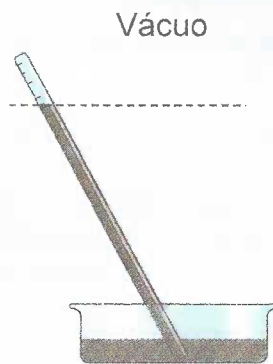


Fig. 3.28c

Experiência de Torricelli

Torricelli deu uma explicação. A atmosfera exerce pressão sobre a superfície do mercúrio dentro da tina, que está em equilíbrio. Logo, a pressão no tubo também é igual à pressão atmosférica. Porém, na parte superior do tubo não há ar, donde se conclui que **a pressão atmosférica é igual à pressão da coluna de mercúrio dentro do tubo**, ou seja, a pressão atmosférica é igual à pressão exercida por uma coluna de mercúrio com 760 mm de altura ($76 \text{ cm} = 0,76 \text{ metros}$).

Conhecendo-se a densidade do mercúrio ($\rho = 13600 \text{ Kg/m}^3$) e a aceleração da gravidade local ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$), é possível calcular o valor da pressão atmosférica:

$$p_{atm} = \rho \cdot g \cdot h \Leftrightarrow p_{atm} = 13600 \cdot 9,8 \cdot 0,76 \Leftrightarrow p_{atm} \approx 101300 \text{ Pa}$$

Este valor de $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ficou conhecido como **pressão atmosférica normal ao nível do mar**.

Conclusões

- O ar tem peso e exerce pressão sobre todos os corpos nele mergulhados.
- A pressão atmosférica normal é igual à pressão exercida por uma coluna de mercúrio com 760 mm (76 cm = 0,76 m) de altura.
- O valor da pressão atmosférica normal é aproximadamente igual a Cem Mil Pascals (10^5 Pa).

Princípio Fundamental da Hidrostática

Considere os pontos A e B de um líquido em repouso, situados a alturas h_A e h_B . A pressão em cada um desses pontos é dada pelas expressões:

$$p_A = \rho \cdot g \cdot h_A \text{ e } p_B = \rho \cdot g \cdot h_B; \text{ como } h_B > h_A \Leftrightarrow p_B > p_A$$

Se determinarmos a diferença de pressão entre os dois pontos (pressão no ponto mais profundo menos a pressão no ponto menos profundo), teremos:

$$p_B - p_A = \rho \cdot g \cdot h_B - \rho \cdot g \cdot h_A$$

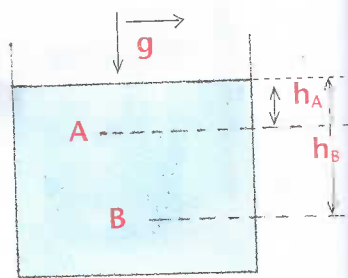


Fig. 3.29

Pondo em evidência, no segundo membro da igualdade, o factor comum, teremos:

$$p_B - p_A = \rho \cdot g(h_B - h_A) \Leftrightarrow p_B - p_A = \rho \cdot g \cdot \Delta h \text{ onde } \Delta h = h_B - h_A$$

Este resultado expressa o chamado **Princípio Fundamental da Hidrostática**, também conhecido por **Lei de Stevin**:

Lei de Stevin

A diferença de pressão entre dois pontos de um líquido em repouso é igual ao produto da densidade do líquido pela aceleração da gravidade do local e pela diferença de alturas a que esses pontos se encontram.

$$p_B - p_A = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

Exercícios resolvidos

1. Dois pontos A e B situados num líquido de densidade $0,8 \text{ g/cm}^3$ distam verticalmente 50 cm um do outro, como mostra a figura ao lado.

Calcule a diferença de pressão entre esses pontos.

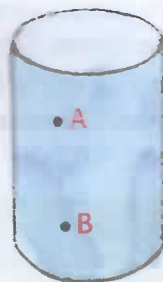


Fig. 3.30

Resolução

Dados: $\rho = 0,8 \text{ g/cm}^3$; $\Delta h = h_B - h_A = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$ **Pedido:** $\Delta p = p_B - p_A = ?$

$$\Delta p = p_B - p_A \Leftrightarrow \Delta p = \rho \cdot g (h_B - h_A) \Leftrightarrow \Delta p = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5 \text{ m} \Leftrightarrow \Delta p = 4000 \text{ Pa}$$

2. Uma caixa de forma cúbica tem 2 metros de aresta e está cheia de água, cuja densidade é 1000 kg/m^3 . A caixa está aberta num local onde a pressão atmosférica é igual a 10^5 Pa .
- Determine a pressão absoluta no fundo da caixa.
 - Qual é o valor da força de pressão que actua no fundo da caixa de água?

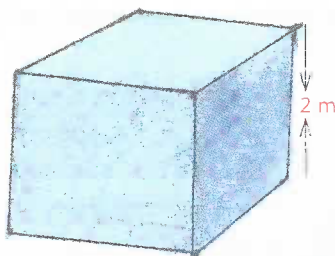


Fig. 3.31

Resolução

a) **Dados:** $a = h = 2 \text{ m}$; $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$; $p_{\text{atm}} = 10^5 \text{ Pa}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$ **Pedido:** $p = ?$

$p_B - p_A = \rho \cdot g \cdot (h_B - h_A)$, onde p_B é a pressão no fundo da caixa e p_A a pressão na superfície livre do líquido (pressão atmosférica)

$$\Leftrightarrow p_B = p_A + \rho \cdot g \cdot (h_B - h_A) \Leftrightarrow p_B = 10^5 + 10^3 \cdot 10 \cdot 2 \Leftrightarrow p_B = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

b) A caixa de água tem forma cúbica, por isso a sua base é um quadrado com 2 m de lado $\Leftrightarrow S = 4 \text{ m}^2$.

$$p = \frac{F}{S} \Leftrightarrow F = p \cdot S \Leftrightarrow F = 1,2 \cdot 10^5 \cdot 4 \Leftrightarrow F = 4,8 \cdot 10^5 \text{ N}$$

3. Um oceanógrafo construiu um aparelho para medir profundidades marítimas. Sabe-se que o aparelho pode suportar uma pressão máxima de $2,0 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Qual será a profundidade máxima que o aparelho pode medir? **Dados:** Pressão atmosférica: $1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, densidade da água mar: $1,03 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, aceleração da gravidade local: 10 m/s^2 .

Resolução

Dados: $p_{\text{máx}} = 2,0 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$; $p_{\text{atm}} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$; $\rho = 1,03 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$; $g = 10 \text{ m/s}^2$
Pedido: $h = ?$

A pressão máxima que o aparelho pode suportar será medida no ponto mais profundo que ele pode alcançar:

$$p_{\text{máx}} = p_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot h \Leftrightarrow h = \frac{p_{\text{máx}} - p_{\text{atm}}}{\rho \cdot g} \Leftrightarrow h = \frac{2,0 \cdot 10^6 - 1,0 \cdot 10^5}{1,03 \cdot 10^3 \cdot 10} \Leftrightarrow h = 184,5 \text{ m}$$



ATIVIDADES

1. A figura representa recipientes de vidro abertos na parte superior, contendo óleo, de densidade $0,80 \text{ g/cm}^3$ e/ou água, cuja densidade é de $1,0 \text{ g/cm}^3$.

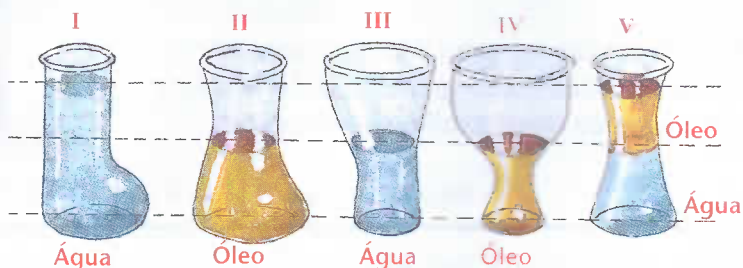


Fig. 3.32

Ordene os recipientes I, II, III, IV e V por ordem crescente das pressões a que as suas bases ficam sujeitas.

2. A figura mostra um recipiente contendo álcool ($\rho = 0,80 \text{ g/cm}^3$) e dois pontos, A e B, cuja diferença de cotas é igual a 17 cm. Adoptar $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e a densidade do mercúrio igual a $13,6 \text{ g/cm}^3$.

Sendo a pressão do ponto B igual a 780 mm Hg, podemos dizer que a pressão do ponto A é:

- a) 760 mm Hg b) 765 mm Hg
c) 770 mm Hg d) 775 mm Hg

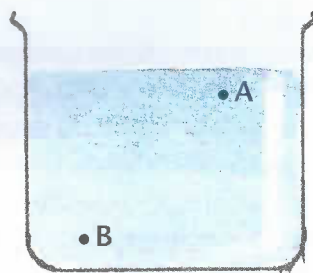


Fig. 3.33

3. Um corpo está submerso num líquido a uma profundidade de 8,0 m, a uma pressão uniforme e igual a $3,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Sendo a pressão na superfície do líquido igual a 1,0 atmosfera, qual a densidade do líquido? Considere $1 \text{ atm} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$.
- a) $2,5 \cdot 10^3 \text{ g/cm}^3$ b) $5,0 \text{ g/cm}^3$
c) $6,75 \text{ g/cm}^3$ d) $2,5 \text{ g/cm}^3$
4. Submerso num lago, um mergulhador constata que a pressão absoluta no medidor que se encontra no seu pulso corresponde a $1,6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Um barómetro indica ser a pressão atmosférica local $1,105 \text{ N/m}^2$. Considere a densidade da água igual a 103 kg/m^3 e a aceleração da gravidade, 10 m/s^2 . Em relação à superfície, o mergulhador encontra-se a uma profundidade de:
- a) 1,6 m b) 6,0 m
c) 16 m d) 5,0 m

5. Na reprodução da experiência de Torricelli num determinado dia, em Lichinga, o líquido manométrico utilizado foi o mercúrio, cuja densidade é de $13,6 \text{ g/cm}^3$, tendo-se obtido uma coluna com altura igual a 70 cm, conforme a figura.

Se tivesse sido utilizado como líquido manométrico um óleo de densidade $0,85 \text{ g/cm}^3$, qual teria sido a altura da coluna de óleo? Justifique a resposta.

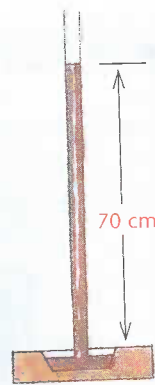


Fig. 3.34

Princípio de Pascal

Como já vimos, a pressão, em determinada região de um líquido, deve-se ao peso da coluna líquida que vai desde essa região até à sua superfície livre, ou seja, à profundidade dessa região.

Neste caso, ela é maior perto do fundo do frasco que contém o líquido e decresce gradualmente conforme nos vamos aproximando da superfície livre, o que se pode demonstrar facilmente fazendo-se pequenos furos laterais numa garrafa de plástico, como já se viu anteriormente (Fig. 3.35). Observaremos agora as diferenças de pressão nos vários níveis, comparando as dimensões e os alcances dos diferentes jactos.

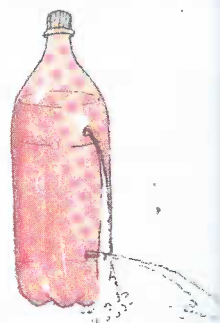


Fig. 3.35

Porém, se submetermos a água contida num cilindro a uma pressão adicional, adaptando a esse cilindro um êmbolo com um peso considerável em cima (Fig. 3.36b), a situação será bem diferente da anterior. A água jorralá dos orifícios superiores quase tão rapidamente quanto dos inferiores. Se o peso colocado sobre o êmbolo for muito maior que o peso da água, todos os jactos terão a mesma forma e apresentarão alcances horizontais iguais. Como a velocidade dos jatos de água é determinada pela pressão no interior do recipiente, concluímos que o acréscimo de pressão

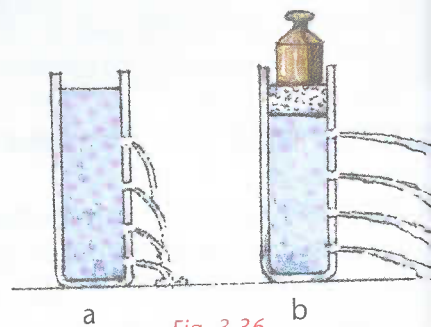


Fig. 3.36

que o líquido recebeu na parte superior se transmitiu a todos os seus pontos, independentemente das suas posições.

Princípio de Pascal

Qualquer acréscimo de pressão num ponto de um líquido em repouso é integralmente transmitido a todos os outros pontos desse líquido.

Prensa hidráulica

A **prensa hidráulica** é uma máquina simples constituída por dois cilindros de diâmetros diferentes, cheios de um líquido incompressível, geralmente óleo mineral.

Em cada cilindro existe um êmbolo móvel sobre o qual se podem colocar pesos.

O seu funcionamento baseia-se no **Princípio**

de Pascal: se aplicarmos uma força \vec{F}_1 sobre

o êmbolo menor, cuja área da secção é S_1 , este

êmbolo ficará sujeito a uma pressão $p_1 = \frac{F_1}{S_1}$.

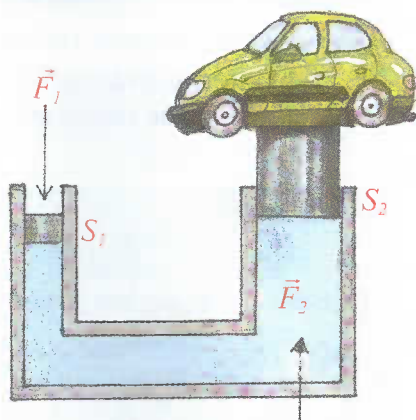
Como, pelo princípio de Pascal, um acréscimo de

pressão num ponto do líquido é transmitido a todos os outros pontos, o êmbolo

de área S_2 ficará sujeito a uma pressão $p_2 = \frac{F_2}{S_2}$, igual à pressão p_1 . Quer dizer,

uma pequena força \vec{F}_1 aplicada no menor êmbolo provocará o surgimento

de uma força maior F_2 , que empurrará o êmbolo maior para cima, permitindo a elevação de grandes cargas.



$$p_1 = p_2 \quad \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

Fig. 3.37

Exercícios resolvidos

1. Os êmbolos de uma prensa hidráulica têm secções cujas áreas medem 5 cm^2 e 25 cm^2 , respectivamente. Que força deverá ser transmitida ao maior dos êmbolos, se no êmbolo de menor secção for aplicada uma força de 30 N ?

Resolução

Dados: $S_1 = 5 \text{ cm}^2$; $S_2 = 25 \text{ cm}^2$; $F_1 = 30 \text{ N}$

Pedido: $F_2 = ?$

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \Leftrightarrow F_2 \cdot S_1 = F_1 \cdot S_2 \Leftrightarrow F_2 = \frac{F_1 \cdot S_2}{S_1} \Leftrightarrow F_2 = \frac{30 \text{ N} \cdot 25 \text{ cm}^2}{5 \text{ cm}^2} \Leftrightarrow F_2 = 150 \text{ N}$$

Repare que $S_2 = 5 \cdot S_1$ e $F_2 = 5 \cdot F_1$. Isto significa que a força no êmbolo maior será tanto maior quanto maior for a sua área em relação à área do êmbolo menor.

2. Os raios dos êmbolos cilíndricos de uma prensa hidráulica medem 4 cm e 20 cm, respectivamente. Que força será necessário aplicar no êmbolo menor, para que possa ser equilibrado um corpo com o peso de 800 N no êmbolo maior?

Resolução

Dados: $r_1 = 4 \text{ cm}$; $r = 20 \text{ cm}$; $F_2 = 800 \text{ N}$

Pedido: $F_1 = ?$

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \Leftrightarrow F_2 \cdot S_1 = F_1 \cdot S_2 \Leftrightarrow F_1 = \frac{F_2 \cdot S_1}{S_2}$$

Como os êmbolos são cilíndricos, as suas secções são circulares, isto é:

$S_1 = \pi \cdot r_1^2$ e $S_2 = \pi \cdot r_2^2$. Sendo assim, substituindo na expressão, acima, teremos:

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot S_1}{S_2} \Leftrightarrow F_1 = \frac{F_2 \cdot (\pi \cdot r_1^2)}{(\pi \cdot r_2^2)} \Leftrightarrow F_1 = \frac{F_2 \cdot r_1^2}{r_2^2} \Leftrightarrow F_1 = \frac{800 \text{ N} \cdot (4 \text{ cm})^2}{(20 \text{ cm})^2} \Leftrightarrow F_1 = 32 \text{ N}$$

3. Deseja-se construir uma prensa hidráulica que permita exercer no êmbolo maior uma força de $5,0 \cdot 10^3 \text{ N}$, quando se aplica uma força de 50 N no êmbolo menor, cuja área é de 20 cm^2 . Determine a área do êmbolo maior.

Resolução

Dados: $F_2 = 5,0 \cdot 10^3 \text{ N}$; $F_1 = 50 \text{ N}$; $S_1 = 20 \text{ cm}^2$

Pedido: $S_2 = ?$

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \Leftrightarrow F_2 \cdot S_1 = F_1 \cdot S_2 \Leftrightarrow S_2 = \frac{F_2 \cdot S_1}{F_1} \Leftrightarrow S_2 = \frac{5 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 20 \text{ cm}^2}{50 \text{ N}} \Leftrightarrow S_2 = 2000 \text{ cm}^2$$



ACTIVIDADES

1. Numa prensa hidráulica, o êmbolo menor tem uma área de 10 cm^2 , enquanto o êmbolo maior tem a área de 100 cm^2 . Quando uma força de 5 N é aplicada no êmbolo menor, o êmbolo maior move-se. Pode-se concluir que:
- a) a força exercida no êmbolo maior é de 500 N ;
 - b) o êmbolo maior desloca-se mais que o êmbolo menor;
 - c) os dois êmbolos realizam o mesmo trabalho;
 - d) o êmbolo maior realiza um trabalho maior que o êmbolo menor.

2. Na figura, os êmbolos A e B possuem áreas de 80 cm^2 e 20 cm^2 , respectivamente. Descarte os pesos dos êmbolos e considere o sistema em equilíbrio. Sendo a massa do corpo colocado em A igual a 100 kg , determine a massa do corpo B.

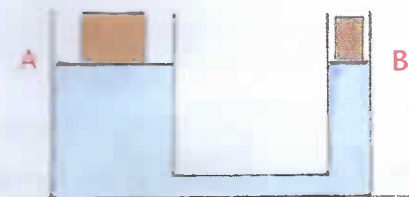


Fig. 3.38

3. As áreas dos êmbolos do dispositivo hidráulico da figura ao lado mantêm a relação $50/2$. Verifica-se que um peso P , colocado sobre o pistão maior, é equilibrado por uma força de 30 N no êmbolo menor, sem que o nível de fluido nas duas colunas se altere. De acordo com o princípio de Pascal, calcule o valor do peso P .

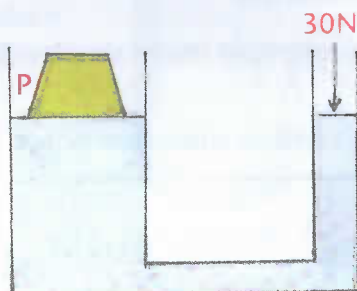


Fig. 3.39

4. Uma prensa hidráulica possui êmbolos cilíndricos com diâmetros de 10 cm e 20 cm . Se uma força de 120 N actua sobre o pistão menor, pode-se afirmar que esta prensa estará em equilíbrio quando sobre o êmbolo maior actuar uma força de:
- a) 30 N
 - b) 60 N
 - c) 480 N
 - d) 240 N
5. A área da secção do êmbolo maior de uma prensa hidráulica é 12 vezes maior que a área da secção do êmbolo menor. Que força deve ser aplicada ao menor dos êmbolos para que no maior seja equilibrado um automóvel com a massa de 2400 kg ?

6. O raio do êmbolo menor de uma prensa hidráulica é 8 vezes menor que o raio do êmbolo maior. Determine a carga máxima que esta prensa poderá elevar quando no êmbolo menor se aplicar uma força de 40 N.
7. O diâmetro do êmbolo maior de um elevador hidráulico é 5 vezes maior que o diâmetro do êmbolo menor. Qual deve ser a força a aplicar no menor êmbolo para que, no maior, possa ser mantido em equilíbrio um automóvel de 2 toneladas?

Vasos comunicantes

Considere dois ou mais recipientes comunicando-se entre si através de um tubo inferior comum.

Um sistema de vasos assim formado constitui um sistema de **vasos comunicantes**.

Um exemplo muito simples de vasos comunicantes é o tubo em U.

Vasos comunicantes com um só líquido

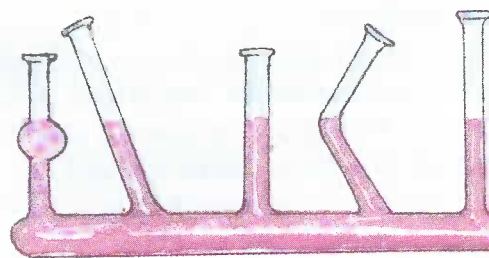


Fig. 3.40 - Vasos comunicantes



Experiência

Num sistema de vasos comunicantes, introduza um líquido, por exemplo, água. Aguarde uns instantes até que o líquido fique em equilíbrio em todos os vasos do sistema e observe as alturas das colunas de líquido em cada um deles.

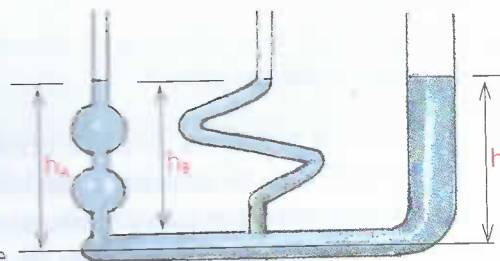


Fig. 3.41

Conclusão

A altura alcançada por esse líquido em equilíbrio, em diversos vasos comunicantes, é a mesma seja qual for a forma da secção do ramo. E para todos os pontos do líquido que estão à mesma altura obtém-se também a mesma pressão. Estas propriedades decorrem da Lei de Stevin, isto é, $h_A = h_B = h_C$

Esta propriedade dos vasos comunicantes, por ser muito simples, tem inúmeras aplicações. Vejamos apenas algumas delas:

- a) O **sistema de distribuição de água**, numa cidade, baseia-se no princípio dos vasos comunicantes: o reservatório central localiza-se na parte mais alta da cidade. Mediante um sistema de canos, válvulas, caixas e torneiras, tem-se água disponível nas pias, chuveiros, etc. Repare que, em casa da Joana, a água não jorra pela torneira porque esta se encontra a um nível mais alto que o reservatório central da cidade, isto é, a água não possui pressão suficiente para alcançar a casa dela.

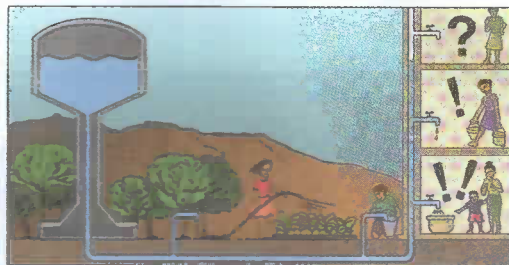


Fig. 3.42 - Sistema de distribuição de água

- b) Abrindo **poços**

artesianos: há poços onde a água aflora até à abertura e chega mesmo a jorrar acima da superfície do solo. Para compreender esse tipo de poço, chamado artesiano (perfurados pela primeira vez em Artois, uma província da França, daí o nome), basta fazer uma simples experiência com vasos comunicantes, como a que ilustramos.

O que fizemos foi trocar um dos funis do nosso sistema de vasos comunicantes, por um tubo afilado, tipo conta-gotas.

Observe que a água jorrará sob pressão até certa altura, tal como um poço artesiano em miniatura. O jacto não alcança o mesmo nível da água no funil, em parte devido à resistência imposta pelo ar ao seu movimento, e em parte, pelos atritos internos existentes no tubo.

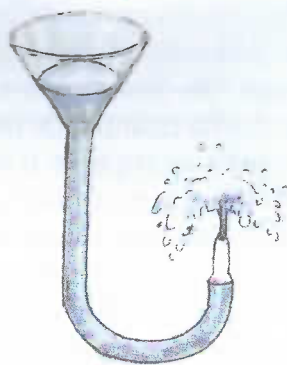


Fig. 3.43 - Modelo de repuxo que implica o poço artesiano

As camadas rochosas da superfície da Terra, dispostas como ilustra a figura ao lado, podem ser permeáveis ou impermeáveis à água. Nas permeáveis, a água atravessaa-as. Nas impermeáveis, a água não consegue atravessá-las. As águas cercadas por paredes impermeáveis comportam-se como águas dentro de um cano de plástico.

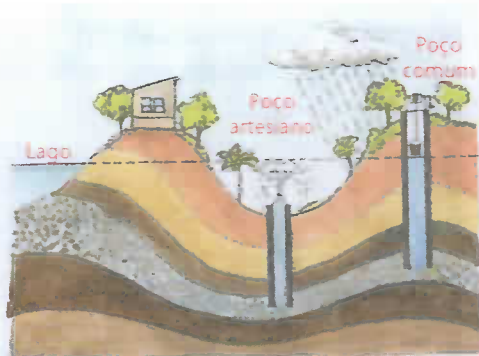


Fig. 3.44 - Camadas rochosas da superfície da Terra

O manancial de água (aquífero) da ilustração da página anterior, corresponde ao funil na ilustração do nosso modelo de repuxo. O poço, à direita, indica o nível superior da camada aquosa. Ele corresponde ao nosso tubo afilado, onde se observa o repuxo.

Repare que o poço artesiano foi perfurado próximo à parte mais baixa do lençol de água. Assim, a água jorra sob pressão, tendendo a atingir o nível do reservatório (o lago, no caso).

Vasos comunicantes com líquidos imiscíveis



Experiência

Por um dos ramos de um tubo em U, de secção uniforme, verta, com cuidado, um pouco de óleo e, pelo outro ramo, verta a mesma quantidade de água. Deixe os líquidos alcançarem o repouso.

Verificará que os níveis dos líquidos em cada ramo não são iguais, sendo mais elevado o nível do óleo (líquido de menor densidade do que a água).

Meça as alturas das duas colunas líquidas, acima da superfície de separação,

e compare o produto $\rho_{\text{água}} \cdot h_{\text{água}}$ com o produto $\rho_{\text{óleo}} \cdot h_{\text{óleo}}$. Conclua que eles são iguais, isto é, $\rho_{\text{água}} \cdot h_{\text{água}} = \rho_{\text{óleo}} \cdot h_{\text{óleo}}$

Demonstração da condição de equilíbrio de dois líquidos imiscíveis em vasos comunicantes

Ao analisar a figura, conclui-se que, para os dois líquidos estarem em equilíbrio, as pressões nos pontos (1) e (2) da superfície de separação dos líquidos são iguais.

A pressão no ponto (1) é dada pela relação: $p_1 = p_{\text{atm}} + \rho_A \cdot h_A$

A pressão no ponto (2) é dada pela relação: $p_2 = p_{\text{atm}} + \rho_B \cdot h_B$

Igualando essas pressões:

$$p_1 = p_2 \Leftrightarrow p_{\text{atm}} + \rho_A \cdot h_A = p_{\text{atm}} + \rho_B \cdot h_B \Leftrightarrow \rho_A \cdot h_A = \rho_B \cdot h_B$$

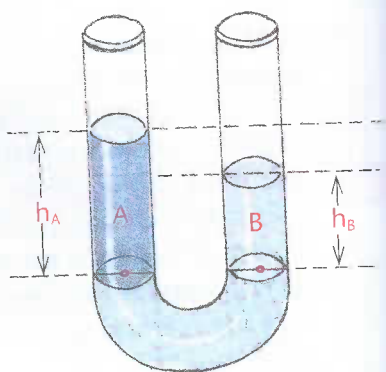


Fig. 3.45

Conclusões

- Líquidos ímiscíveis ou não miscíveis são líquidos que não se misturam, como, por exemplo, a água e o óleo.
- Quando dois líquidos imiscíveis são colocados no mesmo recipiente, dispõem-se de modo a que o líquido de maior densidade ocupe a parte de baixo e o de menor densidade ocupe a parte de cima do recipiente.
- A superfície de separação entre eles é plana e horizontal.
- Nos vasos comunicantes, distribuem-se de forma a que as alturas das colunas líquidas sejam inversamente proporcionais às respectivas densidades, isto é:

$$\frac{h_A}{h_B} = \frac{\rho_B}{\rho_A}$$

$$h_A \cdot \rho_A = h_B \cdot \rho_B$$

Exercícios resolvidos

1. Por um dos ramos de um tubo em U deitou-se água de densidade igual a 1 g/cm^3 e, pelo outro ramo, deitou-se óleo. Após atingirem o equilíbrio, verificou-se que as alturas das colunas de óleo e de água, acima da superfície de separação, mediam 20 cm e 16 cm, respectivamente.

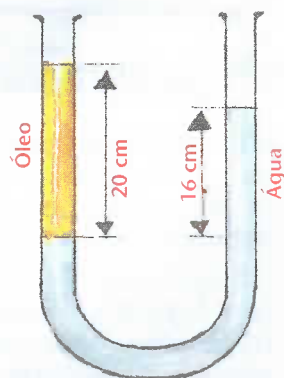


Fig. 3.46

- a) Qual dos dois líquidos é mais denso, a água ou o óleo? Justifique a resposta.
b) Determine a densidade do óleo.

Resolução

a) O líquido mais denso é a água, porque a sua coluna, acima da superfície de separação, tem menor altura que a altura da coluna de óleo, isto é, o líquido de maior densidade fica situado no fundo do sistema.

b) **Dados:** $\rho_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$; $h_{\text{água}} = 16 \text{ cm}$; $h_{\text{óleo}} = 20 \text{ cm}$ **Pedido:** $\rho_{\text{óleo}} = ?$

$$\rho_{\text{óleo}} \cdot h_{\text{óleo}} = \rho_{\text{água}} \cdot h_{\text{água}} \Leftrightarrow \rho_{\text{óleo}} = \frac{\rho_{\text{água}} \cdot h_{\text{água}}}{h_{\text{óleo}}} \Leftrightarrow \rho_{\text{óleo}} = \frac{1 \text{ g/cm}^3 \cdot 16 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} \Leftrightarrow \rho_{\text{óleo}} = 0,8 \text{ g/cm}^3$$

2. Pelo ramo direito de um tubo em U deitou-se água ($\rho = 1 \text{ g/cm}^3$) e, pelo esquerdo, deitou-se um líquido de densidade desconhecida. Após o equilíbrio, o sistema adquiriu a aparência indicada na figura.
- a) O líquido desconhecido é mais ou menos denso do que a água? Justifique a resposta.
- b) Determine a densidade desse líquido.

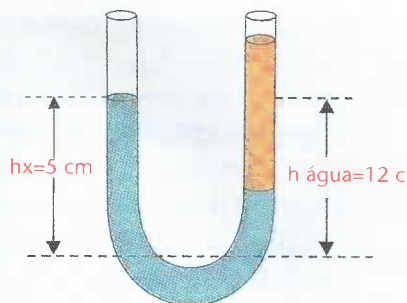


Fig. 3.47

Resolução

a) Mais denso, porque a sua altura, acima da superfície de separação, é menor que a altura da água.

b) Dados: $\rho_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3$; $h_{\text{água}} = 12 \text{ cm}$; $h_x = 5 \text{ cm}$ Pedido: $\rho_x = ?$

$$\rho_x \cdot h_x = \rho_{\text{água}} \cdot h_{\text{água}} \Leftrightarrow \rho_x = \frac{\rho_{\text{água}} \cdot h_{\text{água}}}{h_x} \Leftrightarrow \rho_x = \frac{1 \text{ g/cm}^3 \cdot 12 \text{ cm}}{5 \text{ cm}} \Leftrightarrow \rho_x = 2,4 \text{ g/cm}^3$$



ATIVIDADES

1. Um consumidor, desconfiado da qualidade da gasolina que comprou num posto de abastecimento, resolveu testar a sua densidade. Num sistema de vasos comunicantes, contendo inicialmente água ($\rho = 1 \text{ g/cm}^3$), despejou certa quantidade da gasolina. Após o equilíbrio, o sistema adquiriu a aparência da figura. Determine a densidade da gasolina comprada.
2. No ramo direito de um tubo em U, deitou-se um líquido de densidade igual a $1,8 \text{ g/cm}^3$ e, no ramo esquerdo, deitou-se um outro líquido de densidade $2,4 \text{ g/cm}^3$. Após alcançarem o equilíbrio, a altura da coluna do líquido da direita media $4,8 \text{ cm}$.
- a) Qual era a altura do líquido da esquerda?
- b) Determine a pressão que o líquido da esquerda exerce sobre a superfície de separação.

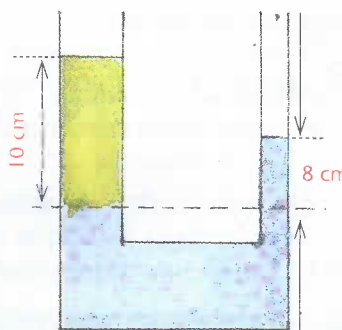


Fig. 3.48

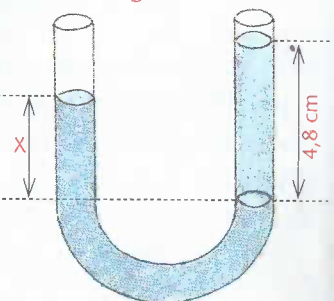


Fig. 3.49

- c) Qual é o valor da pressão que o líquido da direita exerce sobre a superfície de separação? Justifique a resposta.

3. O tubo aberto em forma de U, da figura ao lado, contém dois líquidos não miscíveis, A e B, em equilíbrio. As

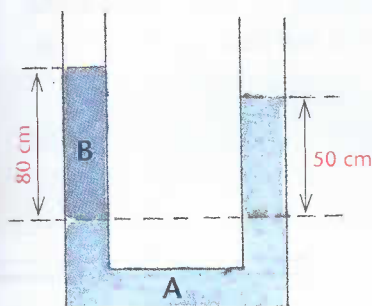


Fig. 3.50

alturas das colunas de A e B, medidas em relação à linha de separação dos dois líquidos, indicam 50 cm e 80 cm, respectivamente.

- a) Qual dos dois líquidos é o menos denso? Justifique a resposta.
b) Sabendo que a massa específica de A é $2,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, determine a massa específica do líquido B.

- c) Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e a pressão atmosférica igual a $1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, determine a pressão no interior do tubo na altura da linha de separação dos dois líquidos.

4. Num sistema de dois vasos comunicantes de secção uniforme, colocaram-se dois líquidos imiscíveis, A e B, de densidades iguais a $1,2 \text{ g/cm}^3$ e $2,10^3 \text{ kg/m}^3$, respectivamente.

- a) Desenhe o sistema de vasos com os líquidos em equilíbrio, tendo em atenção as suas densidades e as respectivas alturas.
b) Se a altura do líquido A, acima da superfície de separação, for de 6 cm, qual será a altura do líquido B?
c) Determine a pressão no interior do tubo, junto à superfície de separação, considerando que $p_{\text{atm}} = 10^5 \text{ Pa}$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

Força de Impulsão e Peso aparente de um corpo



Experiência

- Suspenda um corpo de aproximadamente 400 g num dinamómetro e faça a leitura do peso ($P = 4,0 \text{ N}$) (Fig. 3.51a).
- Suspenso do dinamómetro, mergulhe completamente o corpo num balde com água (Fig. 3.51b).

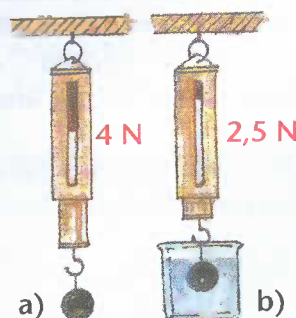


Fig. 3.51

Verificará que o dinamómetro indica um valor menor para o peso do corpo no líquido, isto é, $P_{Liq} < P_{ar}$

Esta diferença ocorre porque, quando um corpo está imerso num líquido, sofre, da parte deste, uma força de impulsão vertical, de baixo para cima. A diferença entre o peso real do corpo (no ar) e o seu peso aparente (no líquido) é igual à força da impulsão.

$$I = P_{ar} - P_{Liq}$$

Verificação experimental da lei de Arquimedes

Para se verificar experimentalmente a lei de Arquimedes, utiliza-se uma **balança hidrostática**: balança de travessão, na qual um dos pratos é elevado e apresenta em baixo um gancho no qual se pode suspender um corpo.

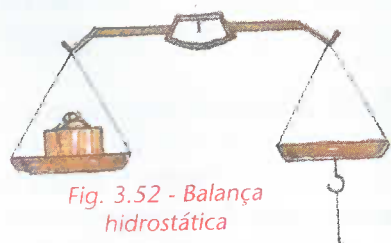


Fig. 3.52 - Balança hidrostática

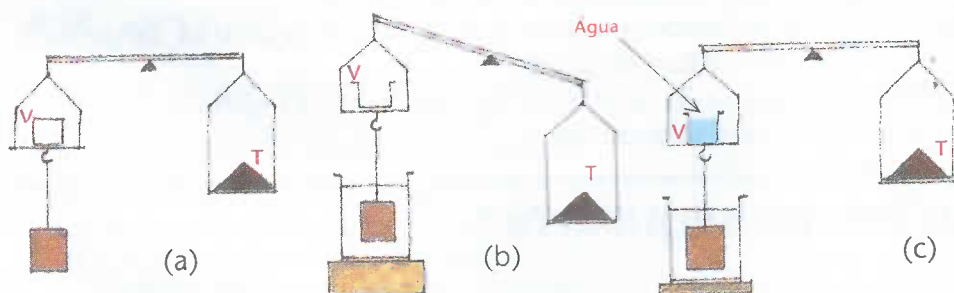


Fig. 3.53

- No prato elevado, deposita-se um vaso cilíndrico V de volume igual ao do corpo cilíndrico C; equilibra-se a balança com tara T. Mediante um fio leve, suspende-se o corpo C ao gancho, deixando o vaso V sobre o prato; isto, evidentemente, não afecta o equilíbrio da balança (Fig. 3.53a).
- Em seguida, mergulha-se completamente o corpo C num vaso com água; a água exerce uma força de impulsão I, que desequilibra a balança (Fig. 3.53b).

Enchendo com água o vaso V, restabelece-se perfeitamente o equilíbrio (Fig. 3.53c), portanto a força de impulsão I é compensada pelo peso da água que cabe no vaso V. Ora, o peso da água que cabe em V é igual ao peso da água deslocada pelo corpo C. Sendo assim, podemos determinar a equação que permite calcular a força de impulsão de Arquimedes:

$$I = P_{Liq\ desl} \Leftrightarrow I = m_L \cdot g \Leftrightarrow V = \rho_L \cdot V_L \cdot g$$

Princípio de Arquimedes

Qualquer corpo mergulhado num fluido sofre da parte deste uma força de impulsão vertical, de baixo para cima, igual ao peso do volume de líquido deslocado.

Exercícios resolvidos

1. Suspendeu-se um corpo num dinamómetro que indicou um peso de 50 N. Mergulhou-se o corpo, suspenso do dinamómetro, num recipiente com água de densidade igual a 1000 kg/m^3 , e a nova indicação do dinamómetro foi de 40 N. Determine:
 - a) a intensidade da força de impulsão que o corpo sofreu;
 - b) o volume do corpo.

Resolução

a) **Dados:** $P_{ar} = 50 \text{ N}$; $P_{aparente} = 40 \text{ N}$; $\rho_{Liq} = 1000 \text{ kg/m}^3$ **Pedido:** $I = ?$

$$I = P_{ar} - P_{aparente} \Leftrightarrow I = 50 \text{ N} - 40 \text{ N} \Leftrightarrow I = 10 \text{ N}$$

$$b) I = \rho_L \cdot V_L \cdot g \Leftrightarrow V_L = \frac{I}{\rho_{Liq} \cdot g} \Leftrightarrow V_L = \frac{10}{10^3 \cdot 10} \Leftrightarrow V_L = 10^{-3} \text{ m}^3$$

Como o corpo está totalmente mergulhado em água, o seu volume é igual ao volume do líquido por ele deslocado, isto é: $V = 10^{-3} \text{ m}^3$

2. Um objecto com uma massa de 10 kg e volume de $0,002 \text{ m}^3$ é colocado totalmente dentro da água ($\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$).
 - a) Quanto pesa o objecto ?
 - b) Qual é a intensidade da força de impulsão que a água exerce no objecto?
 - c) Qual é o peso aparente do objecto?

Resolução

$$a) P = m \cdot g \Leftrightarrow P = 10 \cdot 10 \Leftrightarrow P = 100 \text{ N}$$

$$b) I = \rho_{Liq} \cdot V_{desl} \cdot g \Leftrightarrow I = 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \Leftrightarrow I = 20 \text{ N}$$

$$c) P_{aparente} = P_{ar} - I \Leftrightarrow P_{aparente} = 100 \text{ N} - 20 \text{ N} \Leftrightarrow P_{aparente} = 80 \text{ N}$$

Condições de flutuação dos corpos



Experiência

Para realizar estas actividades, precisará do seguinte material:

- Um frasco de boca larga com cerca de 25 cm de altura e 10 cm de diâmetro;
- um ovo cru;
- água da torneira (suficiente para cobrir 1/2 frasco);
- sal (bastante sal grosso).

- Coloque a água no frasco e, em seguida, introduza o ovo cru. Verificará que o ovo desce até ao fundo do frasco.
- Retire, com cuidado, o ovo do frasco. Verta uma boa porção de sal grosso na água do frasco e misture bem. Introduza novamente o ovo. Curiosamente, o ovo sobe até à superfície livre do líquido onde fica a flutuar.
- Pouco a pouco, vá vertendo água da torneira para dentro do frasco com água salgada com o ovo lá dentro. Notará que, à medida que a concentração de sal for diminuindo, o ovo irá descendo. Quando o ovo estiver sensivelmente a meio do líquido, deixe de verter água da torneira. O ovo permanecerá em equilíbrio no seio do líquido.

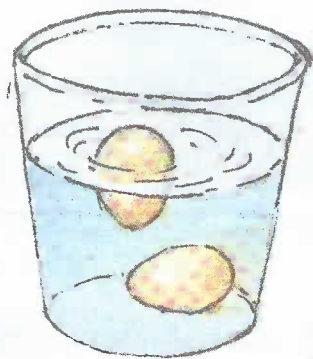
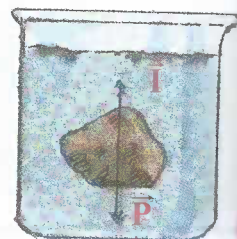
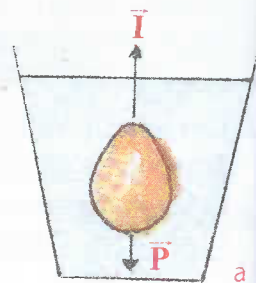


Fig. 3.54

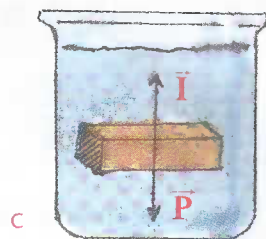
Porque é que uns corpos afundam e outros não? Explicação dos fenómenos observados

Sobre um corpo mergulhado num líquido actuam duas forças verticais: o seu peso, verticalmente para baixo, e a força de impulsão de Arquimedes, verticalmente para cima. Considere os seguintes casos:

- a) **O peso do corpo é maior que a força de impulsão ($P > I$ ou $\rho_c > \rho_l$):** neste caso, o corpo, vai ao fundo, deslocando-se na direcção e no sentido da força maior. Isto ocorre quando a densidade do corpo é maior que a densidade do líquido.



- b) O peso do corpo é menor que a força de impulsão ($P < I$ ou $\rho_L > \rho_C$): neste caso, o corpo sobe até à superfície livre do líquido, onde ficará a flutuar. Ao chegar à superfície livre do líquido, uma parte do corpo emerge, facto que provoca a diminuição da força de impulsão de Arquimedes que, então, se torna igual ao peso do corpo.



- c) Quando o corpo fica em equilíbrio na superfície livre do líquido, o seu peso e a força de impulsão também são iguais.

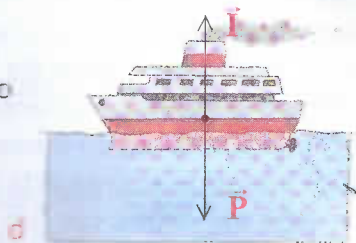


Fig. 3.55 a,b,c,d



ACTIVIDADES

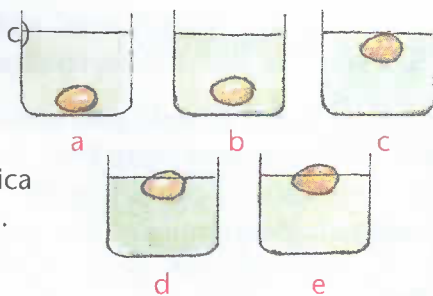
1. Um corpo flutua junto da superfície livre de um líquido em repouso.

Nesse caso:

- a) o impulso é menor que o peso;
- b) o impulso é maior que o peso;
- c) o impulso é igual ao peso;
- d) a densidade do corpo é maior que a do líquido.

2. Uma pedra, cuja densidade é de $3,2 \text{ g/cm}^3$, ao ser inteiramente submersa em determinado líquido, sofre um perda aparente de peso igual à metade do peso que apresenta fora do líquido. A densidade desse líquido é, em g/cm^3 :

- a) 4,8
- b) 3,2
- c) 2,0
- d) 1,6



3. Um ovo colocado num recipiente com água vai até o fundo, onde fica apoiado, conforme a (Fig. 3.56 a).

Adicionando-se sal em várias concentrações, ele assume as

posições indicadas nas outras figuras b, c, d e e.

Fig. 3.56

A situação que indica um impulso menor do que o peso do ovo é a da figura:

- a) a
- b) b
- c) c
- d) d
- e) e

4. Porque é que um bloco de ferro ($\rho = 7,8 \text{ g/cm}^3$) afunda na água ($\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$), mas flutua no mercúrio ($\rho = 13,6 \text{ g/cm}^3$)?

Mau tempo... Bom tempo... Falam os Barômetros

O tempo meteorológico tem uma influência marcante sobre a Natureza e sobre as nossas vidas.

Quantas e quantas vezes, cidades e vilas inteiras foram destruídas devido ao mau tempo? Chuvas torrenciais, tempestades tropicais, secas profundas, ciclones, todos estes fenômenos afectam a existência de homens, animais e plantas na Terra. Hora a hora, dia a dia, o tempo tem influenciado as decisões dos homens. O tempo já decidiu, inúmeras vezes, o destino de povos, a vitória ou a derrota de nações em batalhas ou mesmo o desenvolvimento de uma dada região. A nossa saúde e mesmo a nossa vida são muitas vezes ameaçadas por diversos fenômenos climáticos. Vamos, por isso, penetrar um pouco na ciência da previsão do tempo, que é a **Meteorologia**.

A **Meteorologia** é uma ciência cujos resultados visíveis para o grande público são os boletins diários das estações meteorológicas. As previsões destas estações abrangem, em geral, regiões bastante extensas. Isto tem o seu inconveniente pois, infelizmente, só se poderão indicar as características principais do tempo esperado. Por este motivo, não é de se estranhar que o tempo que realmente se verifica mostre variações locais contrárias às previsões. Quer isto dizer que é preciso complementar os boletins meteorológicos, tornando-se, por isso, também necessárias as observações locais. Para fazer essas observações, é costume usar-se um barômetro adequado. No entanto, primeiro é preciso compreender o que causa a variação do tempo; depois, deve utilizar-se sempre um **barômetro** da maior precisão para se evitarem enganos; e, por último, é preciso aprender a trabalhar com ele.

A pressão do ar e o barômetro

O nosso planeta está envolto pela atmosfera, como certamente já estudou em Geografia e nós já referimos neste livro. O ar tem peso, conforme experiências anteriormente realizadas o comprovaram. O peso do ar varia de lugar para lugar, sendo influenciado pela temperatura e pelo vapor de água que possa conter. Há diversos instrumentos para prever o tempo que possuem funções diferentes: o **termómetro** indica apenas a temperatura corrente; o **higrómetro** só mostra a humidade relativa e o **barómetro** serve para medir a pressão atmosférica, revelando as condições futuras, prevendo-se, assim, as variações do tempo.

As massas de ar aquecidas pelo Sol aumentam de volume, empurram as massas de ar frio e sobem acima delas. Este processo causa desequilíbrios atmosféricos e estes provocam correntes, aquilo a que normalmente se dá o nome de ventos. A mudança de temperatura pode causar chuva, granizo, nevada,

etc. É como que uma luta entre as massas atmosféricas: umas mais quentes e outras mais frias empurrando-se umas às outras, formam ondas, semelhantes às da água do mar, com cristas e cavas. Cada uma dessas posições recebe um nome: uma crista de ar chama-se **Alta**; um vale ou cava recebe o nome de **Baixa**. O peso do ar (ou a pressão atmosférica), no caso da Alta pressão, é maior do que no caso da Baixa.

Barômetros

Existem barômetros de mercúrio e barômetros metálicos (aneróides, ou seja, "sem líquido").

O primeiro é um aparelho simples, denominado **barômetro de Torricelli**. Consiste de um tubo de vidro com cerca de 1 m de altura. Este tubo, completamente cheio de mercúrio, é invertido numa tina, também contendo mercúrio. Parte do mercúrio passa do tubo para a tina, deixando uma câmara de vácuo na parte superior – chamada **câmara de vácuo barométrico**. Ao nível do mar, quando a pressão atmosférica é **média**, a coluna de mercúrio neste tubo de vidro fica 76 cm acima do nível do mercúrio da tina.

Quando a pressão atmosférica **aumenta**, mais mercúrio do recipiente penetra no tubo, ou seja, o nível de mercúrio no tubo aumenta. Popularmente diz-se que o **barômetro sobe**.

Se a pressão **diminui**, uma certa quantidade do mercúrio volta ao recipiente, ou seja, o nível de mercúrio no tubo diminui – o **barômetro desce**.

O **barômetro de metal** (ou **aneróide** = "sem líquido") consiste de uma câmara metálica (latão) de paredes delgadas e curvas, vazia de ar e hermeticamente fechada.

Como é mais comprida por fora (face convexa) que por dentro (face côncava), curva-se mais e fecha-se mais quando aumenta a pressão atmosférica e distende de novo, por elasticidade, quando a mesma pressão diminui.

Um sistema de alavancas transmite estes movimentos (de 1 a 2 mm, no máximo!), com a devida ampliação, ao ponteiro que, por sua vez, gira ao redor de uma escala circular. Gradua-se este barômetro por comparação com um barômetro de mercúrio, em geral, com escala em milímetros de mercúrio. Os barômetros de maior precisão trabalham com duas câmaras.

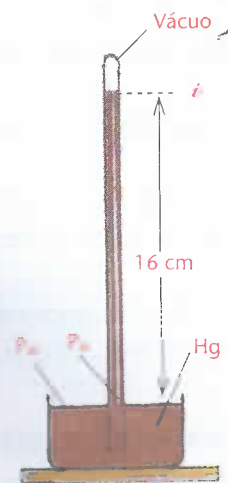


Fig. 3.57 - Barômetro de Torricelli

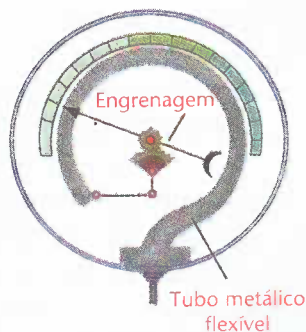


Fig. 3.58 - Barômetro metálico

Quando a pressão atmosférica aumenta (*Alta*), o ponteiro, gradualmente, desloca-se para a direita $\frac{3}{4}$ — o *barômetro sobe*. Pelo contrário, quando a pressão diminui (*Baixa*), pouco a pouco o ponteiro gira para a esquerda $\frac{3}{4}$ — *barômetro desce*; quando o barômetro desce, o tempo piora e, provavelmente, vai chover. Uma baixa repentina é sinal de tempestade.

Os barômetros de metal são munidos, muitas vezes, de uma escala com inscrições sobre a previsão do tempo, como *bom tempo, variável, chuva*, etc. Entretanto, essas indicações não correspondem sempre às características do tempo que na realidade existe. O céu pode, por exemplo, clarear, quando o barômetro indica *Baixa* e também pode haver tempo chuvoso, quando o barômetro aponta para *Alta*.

Manômetro: aparelho para medir a pressão

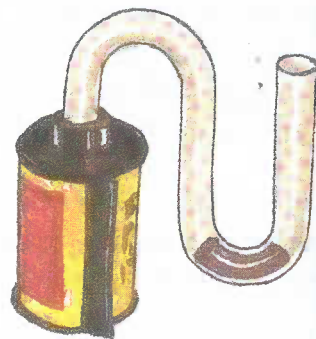
O **manômetro** é um instrumento utilizado para medir a pressão. Um tipo de manômetro muito antigo é o de coluna líquida.

Para melhor compreender o seu funcionamento, vamos construir um destes aparelhos. É muito simples....

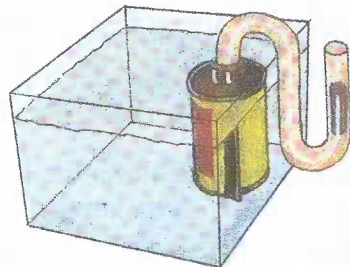
Material necessário

- Caixa cilíndrica de rolo de fotografias;
- Mangueira de plástico (feita de plástico fino);
- Cola de borracha/plástico;
- Arame fino com 60/80 cm de comprimento;
- Balão;
- Elástico ou linha;
- Água colorida;
- Um recipiente alto com água (pode ser um balde).

- Faça um pequeno furo no centro do fundo da caixa de rolo de fotografia e introduza uma das pontas da mangueira de plástico, fixando-a com cola.
- Com o arame, dê ao tubo a forma indicada na Fig. (3.59a).
- Tape a boca dessa caixinha com um pedaço de balão e fixe-o com a tira elástica ou linha.



a



b

Fig. 3.59

- Introduza um pouco de água colorida no tubo Fig. 3.59a da página anterior.
- Vá introduzindo lentamente a cápsula na caixa de vidro com água, como indica a Fig. 3.59b, e observe a relação entre a profundidade da mesma e a altura da água colorida na parte recta do tubo.

Descreva, agora, em algumas linhas, o que **observou**:

UNIDADE 4:

Óptica Geométrica

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 refacção 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.

CONTEÚDOS

- Fontes de luz. Corpos luminosos e iluminados.
- A propagação rectilínea da luz. Raio e feixe luminoso.
- Sombra, penumbra e eclipses.
- Exercícios de aplicação.
- 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.
- Exercícios de aplicação.
- Fenómeno da refacção da luz. Leis da refacção. Índice de refacção.
- Exercícios de aplicação.
- Refracção numa lente biconvexa (raio focal, paralelo e central).
- Construção geométrica da imagem dada por uma lente biconvexa e suas características.
- Exercícios de aplicação.
- Instrumentos ópticos (a lupa, o microscópio composto, a máquina fotográfica).
- Exercícios de aplicação.
- O olho humano e suas deficiências (miopia e hipermetropia).
- Exercícios de aplicação.

Óptica Geométrica

4



INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade que os fenómenos luminosos intrigam os Homens, despertando até interpretações sobrenaturais. Que Deus, tão poderoso e misterioso, era aquele que, ora enviava um Sol radiante e maravilhoso, ora o ocultava, fazendo nascer a noite em pleno dia? Que Deus, tão poderoso e misterioso, era aquele que fazia brotar fogo dos céus, incendiando planícies, queimando grutas e que, depois da tempestade, enviava dos céus arcos coloridos, auroras boreais lindíssimas, nasceres e pôres do Sol espectaculares?



a

Eclipses

b

Raios e relâmpagos

c

Pôr-do-Sol

Fig. 4.1 - Alguns fenómenos luminosos que sempre despertaram a nossa atenção e curiosidade

A **óptica** é uma ciência muito antiga que sempre despertou o interesse das pessoas. Os filósofos gregos Platão e Aristóteles já se preocupavam em formular respostas a várias perguntas, tais como: por que vemos um objecto? O que é a luz?

Platão chegou a supor que os nossos olhos emitiam pequenas partículas que, ao atingirem os objectos, os tornavam visíveis. Como deve imaginar, isso é totalmente errado !!! Se fosse assim, nós poderíamos ver no escuro!

Ao longo dos tempos, muitos físicos procuraram outras hipóteses para explicar um grande número de fenómenos que ocorriam: Huyghens, Young e Maxwell lançaram novas ideias sobre a natureza da luz; Newton, Galileu e Louis Fizeau tentaram desvendar o comportamento da luz. Assim:

- Newton observou a propagação rectilínea de um feixe de luz que penetrava por uma fresta da janela.
- Galileu realizou várias experiências tentando medir a velocidade da luz.
- Louis Fizeau montou um dispositivo para medir a velocidade da luz com grande precisão.

Ao ramo da Física que estuda os fenómenos relacionados com a luz, a sua natureza, comportamento e propriedades dá-se o nome de **Óptica**. A **Óptica Geométrica** estuda os fenómenos que são explicados com base na propagação **rectilínea** da luz, como por exemplo, os eclipses, as imagens nos espelhos e nas lentes, entre outros.

Conceitos Ópticos Básicos

Em óptica, os diversos corpos existentes na natureza classificam-se em:

Corpos luminosos ou **fontes luminosas**, que são os corpos que **emitem luz própria**. Exemplos: o Sol, as estrelas, a chama de uma vela, uma lâmpada acesa, o pirilampo, entre muitos outros.

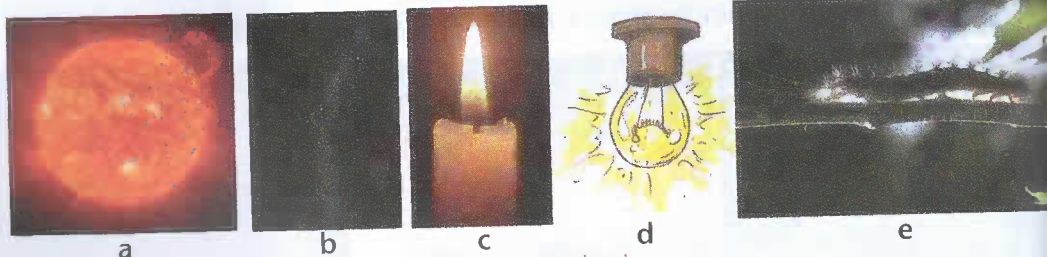


Fig. 4.2 - Corpos luminosos

a - Sol

b - Estrelas

c - Vela acesa

d - Lâmpada acesa

e - Pirilampo

Corpos iluminados são aqueles que **não possuem luz própria**, reflectindo a luz que recebem dos corpos luminosos. Exemplos: planetas, como a Terra, a Lua, as páginas deste livro, etc.

Corpos opacos são os corpos que **impedem a passagem da luz**, não permitindo a visão dos objectos através deles. Quando estes corpos se interpõem no caminho da luz, produzem sombras. Exemplos: uma parede de cimento, uma esfera metálica, uma placa de madeira, etc.

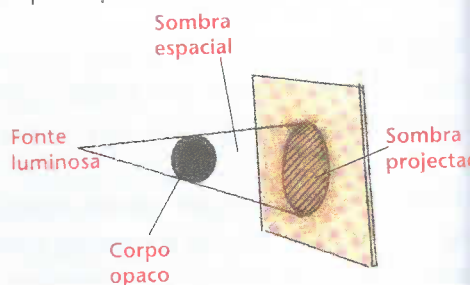


Fig. 4.3 - Corpo opaco

Corpos transparentes, são os corpos que **se deixam atravessar totalmente pela luz** permitindo uma visão nítida dos objectos através deles. Exemplos: uma placa de vidro liso, a película fina de água límpida, o ar, etc.



Fig. 4.4 - Corpos transparentes

Corpos translúcidos são os corpos que apenas se deixam atravessar parcialmente pela luz, sendo a visão dos objectos através deles, muito pouco nítida. Exemplos: placa de vidro nervurado, papel engordurado, etc.

Fig. 4.5 - Corpos translúcidos



Raio e feixe luminoso

Para representar a propagação da luz num determinado meio, usa-se o **raio luminoso**, que é uma idealização física representada geometricamente por meio de uma seta luminosa.

A um conjunto de raios luminosos dá-se o nome de **feixe luminoso**. Existem vários tipos de feixes luminosos: paralelos, convergentes e divergentes.



Fig. 4.6 - Raios Luminosos

a - Raio luminoso b - Feixe de raios paralelos c - Feixe convergente d - Feixe divergente

Princípios da Óptica Geométrica



Experiência

Para a realização desta actividade, vai necessitar do seguinte material:

- 3 placas opacas de cartão (30x30 cm);
- 3 suportes para as placas de cartão;
- uma vela acesa.

Com o prego, faça um orifício com aproximadamente 1 cm de diâmetro no centro de cada uma das três placas de cartão.

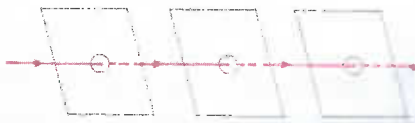


Fig. 4.7 - Propagação rectilínea da luz

Coloque cada uma das placas sobre um suporte e distancie-as cerca de 40 cm umas das outras. Faça com que os três orifícios das placas fiquem perfeitamente alinhados.

- * Em frente do orifício da primeira placa (P_1), coloque a vela acesa e espreite pelo orifício da última placa (P_3). A chama da vela é perfeitamente visível.
- * Desloque a placa 2 de modo a que o orifício fique desalinhado com os orifícios das outras placas. A chama da vela deixa de ser visível.

Princípio da propagação rectilínea da luz: Num meio homogéneo e transparente, como o ar, a luz propaga-se em linha recta.

Outros dois princípios ópticos muito importantes que regem a propagação da luz são os seguintes:

Princípio da reversibilidade dos raios de luz: O caminho seguido pela luz não depende do sentido de propagação.

Princípio da independência dos raios de luz: Um raio de luz, ao cruzar com outro, não interfere na sua propagação.

Consequências da propagação rectilínea da luz

Iª - Formação da sombra e da penumbra: quando entre uma fonte luminosa e um anteparo se coloca um objecto opaco, de modo a que este se interponha no caminho da luz, é possível observar, no anteparo, zonas de sombra e de penumbra cujos contornos são os limites do corpo opaco.

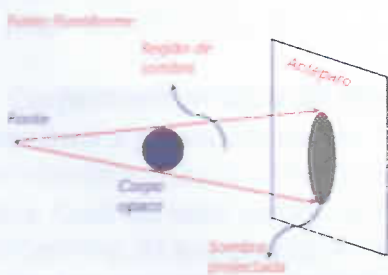


Fig. 4.8 - Formação de sombras

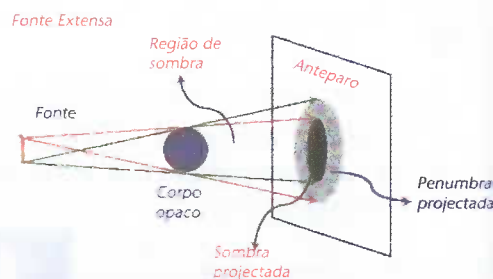


Fig. 4.9 - Formação de penumbra

IIª - Formação dos eclipses: um eclipse é a ocultação, total ou parcial, de um astro devido à interposição de um outro no caminho da luz solar. Existem dois tipos de eclipses:

- a) **Eclipse do Sol:** ocorre quando o Sol, a Lua e a Terra se posicionam de tal forma que os seus centros ficam em linha recta com

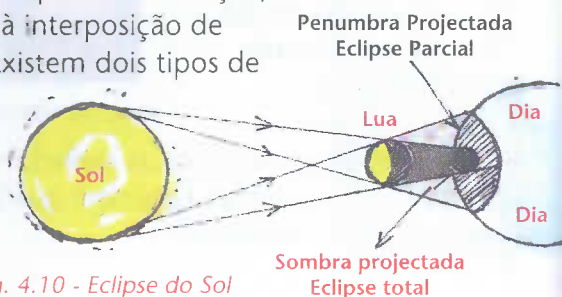
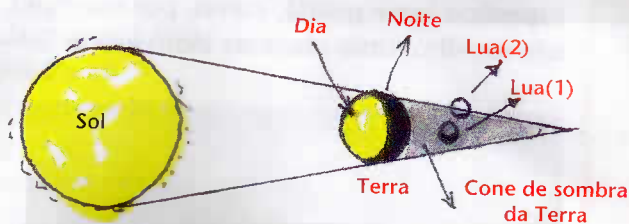


Fig. 4.10 - Eclipse do Sol

a Lua, na qualidade de corpo opaco, a interpor-se no caminho da luz solar, projectando um cone de sombra e de penumbra sobre o nosso planeta.

- b) **Eclipse da Lua:** ocorre quando o Sol, a Lua e a Terra se posicionam de tal forma que a Terra, como corpo opaco, se interpõe no caminho da luz solar, projectando um cone de sombra e de penumbra sobre o nosso satélite.



(1) Eclipse total: Lua totalmente no interior do cone de sombra
(2) Eclipse parcial: Lua parcialmente no cone da sombra

Fig. 4.11 - Eclipse da lua

IIIª - Formação de imagens invertidas numa câmara escura:

uma câmara escura é uma caixa de paredes opacas com um pequeno orifício numa das faces que permite a passagem de luz. Para conseguirmos ver a imagem, na parede oposta ao orifício de entrada da luz colocamos um material translúcido.

Pelo esquema, facilmente se percebe que a formação da imagem invertida é uma consequência da propagação rectilínea da luz.

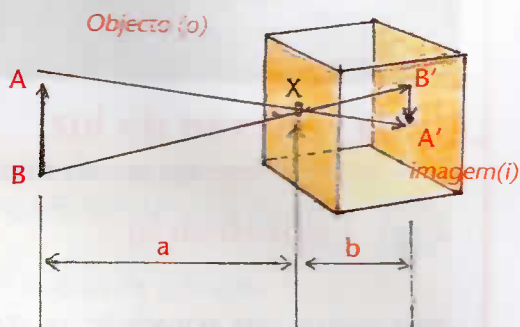


Fig. 4.12 - Imagens na câmara escura

Reflexão da luz

É o fenómeno que ocorre quando, no seu trajecto, os raios luminosos, ao encontrarem um obstáculo, são desviados para o mesmo meio de onde são provenientes. Existem dois tipos de reflexão:

- a) **Difusão ou Reflexão irregular:** ocorre quando os raios luminosos encontram uma superfície irregular, como por exemplo as paredes de uma sala, uma folha de papel, um quadro, etc. Nestes casos, os raios luminosos espalham-se em todas as direcções, facto que permite ver os objectos que nos rodeiam.

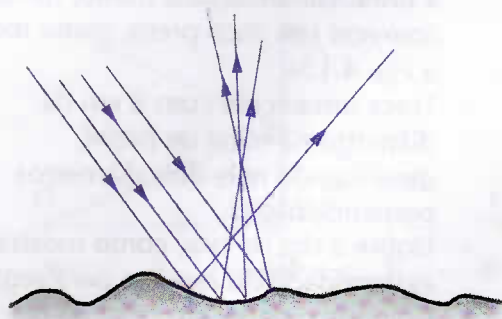


Fig. 4.13 - Difusão ou reflexão irregular da luz

- b) **Reflexão regular ou reflexão:** ocorre quando os raios luminosos encontram uma superfície lisa e polida, como, por exemplo, um espelho, uma placa de vidro liso, a

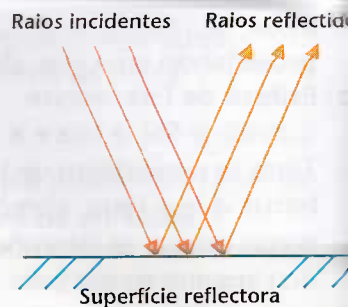


Fig. 4.14 - Reflexão da luz

superfície límpida das águas de um lago (ou do mar, num dia calmo, etc.) Nestes casos, os raios luminosos são desviados numa única direcção bem definida.

Leis da reflexão da luz



Experiência

Para realizar esta actividade, vai necessitar do seguinte material:

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| • Espelho rectangular (3 cm x 8 cm) | • Placa de isoterma (10 cm x 12 cm) | • Dois alfinetes |
| • Compasso | • Tira de lata (8 cm x 0,3 cm) | • Esquadro |
| • Folha de papel | • Cola | • Transferidor |

Montagem e procedimento

- Com a ponta (metálica) do compasso (e régua), risque uma linha no meio da parte de trás do espelho, no sentido da largura, de modo a tirar a tinta. Olhando pela frente, deverá aparecer um risco preto, como mostra a Fig. 4.15a.
- Trace um círculo com 8 cm de diâmetro na folha de papel, desenhando nele dois diâmetros perpendiculares.
- Dobre a tira de lata, como mostra a Fig. 4.25b, e coloque-a na extremidade do espelho para segurá-lo em posição vertical.
- Coloque o papel em cima da placa de isoterma.
- Com a ajuda da lata, coloque o espelho de modo a que a parte de trás do mesmo coincida com um dos diâmetros (o mais exactamente

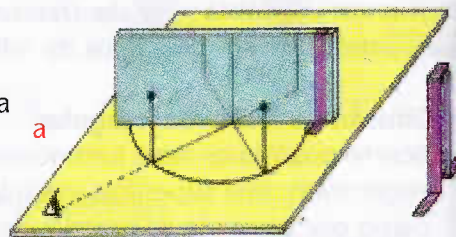


Fig. 4.15 - Leis da reflexão da luz

possível) e o risco central do espelho com o centro do círculo.

- Espete um alfinete perpendicularmente à linha da circunferência, no quarto quadrante.
- Segure no outro alfinete e olhe onde indica a Fig. 4.15a (terceiro quadrante); vá correndo o alfinete pela circunferência no mesmo quadrante.
- No momento em que visualizar, em linha recta, a imagem do primeiro alfinete (primeiro quadrante), o risco do espelho e o alfinete que tem na mão, espete-o sobre a circunferência numa posição bem vertical.
- Tire os alfinetes, o papel e trace os dois raios que unem o centro com os furos dos alfinetes, tal como indica a Fig. 4.16.
- Meça os dois ângulos resultantes.

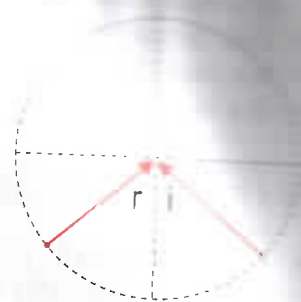


Fig. 4.16

Conclusões: Leis da reflexão da luz

1ª Lei: o raio incidente à normal no ponto de incidência e o raio reflectido estão no mesmo plano.

2ª Lei: o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Imagem dada por um espelho plano

Quando olhamos a nossa imagem reflectida num espelho plano, ela parece estar situada atrás do espelho. Essa imagem formada no prolongamento dos raios reflectidos é denominada de **imagem virtual**.

Vamos determinar as características da imagem fornecida por um espelho plano:

a) Imagem de um ponto O:

Na figura ao lado, temos que:

θ_i - ângulo de incidência

θ_r - ângulo de reflexão

p - distância objecto, que é a distância do objecto ao espelho

p' - distância imagem, que é a distância da imagem ao espelho

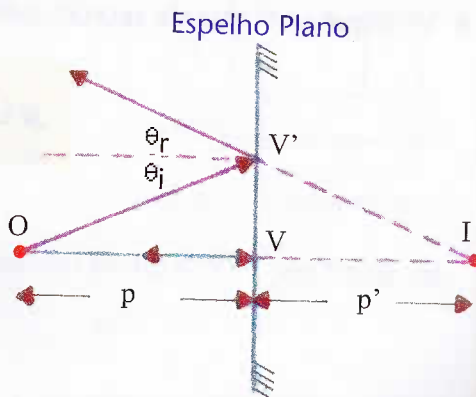


Fig. 4.17 - Imagem de um ponto num espelho plano

Observe que a imagem (O') fornecida pelo espelho plano do ponto (O):

possível) e o risco central do espelho com o centro do círculo.

- Espete um alfinete perpendicularmente à linha da circunferência, no quarto quadrante.
- Segure no outro alfinete e olhe onde indica a Fig. 4.15a (terceiro quadrante); vá correndo o alfinete pela circunferência no mesmo quadrante.
- No momento em que visualizar, em linha recta, a imagem do primeiro alfinete (primeiro quadrante), o risco do espelho e o alfinete que tem na mão, espete-o sobre a circunferência numa posição bem vertical.
- Tire os alfinetes, o papel e trace os dois raios que unem o centro com os furos dos alfinetes, tal como indica a Fig. 4.16.
- Meça os dois ângulos resultantes.

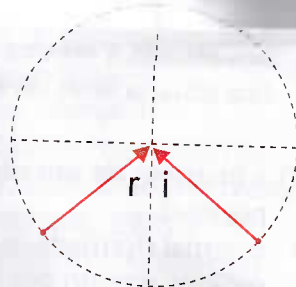


Fig. 4.16

Conclusões: Leis da reflexão da luz

1ª Lei: o raio incidente à normal no ponto de incidência e o raio reflectido estão no mesmo plano.

2ª Lei: o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Imagem dada por um espelho plano

Quando olhamos a nossa imagem reflectida num espelho plano, ela parece estar situada atrás do espelho. Essa imagem formada no prolongamento dos raios reflectidos é denominada de **imagem virtual**.

Vamos determinar as características da imagem fornecida por um espelho plano:

a) Imagem de um ponto O:

Na figura ao lado, temos que:

θ_i - ângulo de incidência

θ_r - ângulo de reflexão

p - distância objecto, que é a distância do objecto ao espelho

p' - distância imagem, que é a distância da imagem ao espelho

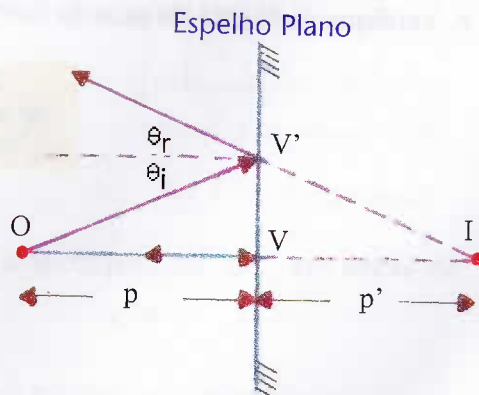


Fig. 4.17 - Imagem de um ponto num espelho plano

Observe que a imagem (O') fornecida pelo espelho plano do ponto (O):

- é virtual (formada no prolongamento dos raios reflectidos);
- é do tamanho do objecto, isto é, a imagem é pontual, tal como o objecto;
- fica situada à mesma distância do espelho;
- fica situada atrás do espelho.

b) a imagem de um objecto não pontual:

- é virtual (formada no prolongamento dos raios reflectidos);
- o tamanho da imagem é igual ao do objecto;
- fica situada à mesma distância do espelho;
- fica situada atrás do espelho.

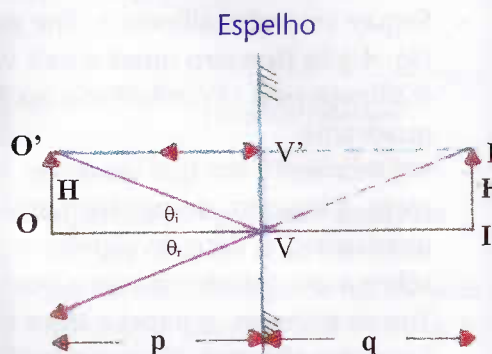


Fig. 4.18 - Imagem de um objecto

Associação de dois espelhos planos

Para esta verificação, precisamos do seguinte:

- Dois espelhos planos
- Um objecto real (um lápis)
- Régua
- Transferidor
- Folha de papel milimétrico
- Fita adesiva

Agora proceda da seguinte maneira:

1. Una os espelhos de maneira a formar vários ângulos (30° ; 45° , etc.).
2. Coloque-os sobre o papel milimétrico.
3. Meça o ângulo " α " entre eles.
4. Coloque um objecto na bissetriz de " α ".
5. Observe e registe o número N de imagens formadas.
6. Verifique se N está de acordo com a equação.

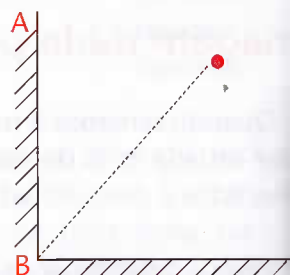


Fig. 4.19 - Dois espelhos planos

$$N = \frac{360}{\alpha} - 1$$



ACTIVIDADES

1. Usando termos ou expressões da lista que se segue, complete correctamente as frases: transparentes, nula, reflecte-se regularmente, fontes de luz, pouco nítida, difusão, ângulo de incidência, eclipse solar, opaco, iluminados, linha recta, independente, facilidade, translúcido, perfeita, homogéneo, não se propaga, apenas parcialmente, direcções, eclipse da lua.
 - a) A luz provém das _____ e, se o meio for _____, propaga-se nele em _____, em todas as _____.
 - b) Num meio _____ a visão dos objectos é _____, porque a luz não se propaga nesse meio. No entanto, se o meio for _____, a visão dos objectos através dele é perfeita porque a luz se propaga com muita _____. Um meio que apenas permite uma visão difusa dos objectos é um meio _____.
 - c) Quando a Lua se interpõe entre o Sol e o nosso planeta, de forma que uma parte da Terra fique total ou parcialmente privada da luz do nosso astro-rei, estamos perante um _____. Mas, se for a Terra a interpor-se entre o Sol e a Lua, projectando sombra sobre o nosso satélite natural, estaremos perante um _____.
 - d) Durante a reflexão da luz num espelho, verifica-se que o ângulo de reflexão é igual ao _____.
2. A figura ao lado representa uma câmara escura diante da qual foi colocada uma pequena flecha luminosa AB.
 - a) Construa a imagem da flecha luminosa.
 - b) Aumentando-se a distância entre a flecha AB e o orifício de entrada da luz, explique como irá variar o tamanho da imagem.
3. A figura que se segue representa um objecto pontual "O", em frente de um espelho plano.

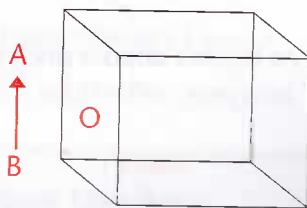


Fig. 4.20 - Câmara escura

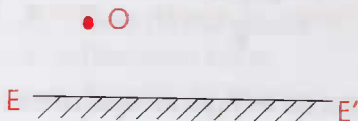


Fig. 4.21

- a) Determine geometricamente a imagem do objecto.
- b) Caracterize essa imagem.

4. F é uma lâmpada fluorescente e A um anteparo opaco. Pode-se afirmar que as regiões da mesa, I, II, III, IV e V são, respectivamente, regiões de:

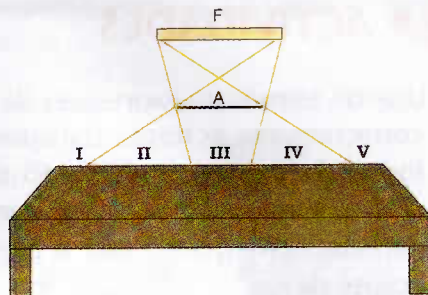


Fig. 4.22

- a) sombra, penumbra, luz, penumbra, sombra.
- b) sombra, sombra, sombra, sombra, sombra.
- c) luz, penumbra, sombra, penumbra, luz.
- d) sombra, luz, penumbra, luz, sombra.

5. Um raio luminoso incide sobre a superfície horizontal de um espelho plano segundo um ângulo de incidência de 60° . Qual das figuras que se seguem representa correctamente a situação?

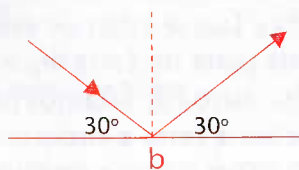
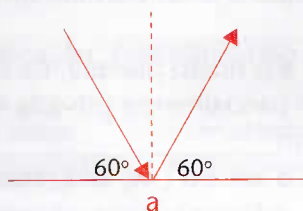


Fig. 4.23

6. Bruno, aluno da 9ª classe, desenhou numa folha de papel a palavra PAZ. Em seguida, colocou o papel diante de um espelho plano. Desenhe a imagem que o espelho devolveu a Bruno.

PAZ

7. As figuras abaixo pretendem representar objectos e suas respectivas imagens, reflectidas num espelho plano.



Fig. 4.24

Em relação às figuras, assinale as opções correctas.

8. Através de um espelho retrovisor (plano), um motorista vê um caminhão que viaja atrás do seu carro. Observando certa inscrição no pára-choques do caminhão, o motorista consegue ler a seguinte imagem no seu espelho:

SORRIA

A inscrição pintada no caminhão é portanto:

- a) AIRROS
- b) AIRRIA
- c) AIRROS
- d) AIRROS
- e) SORRIA

Espelhos Esféricos

Espelho esférico é toda a superfície reflectora que faz parte de uma calote esférica. Existem dois tipos de espelhos:

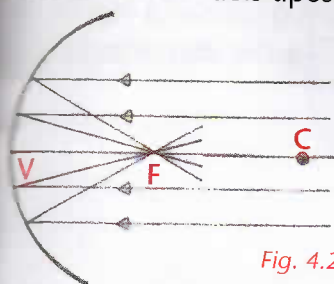
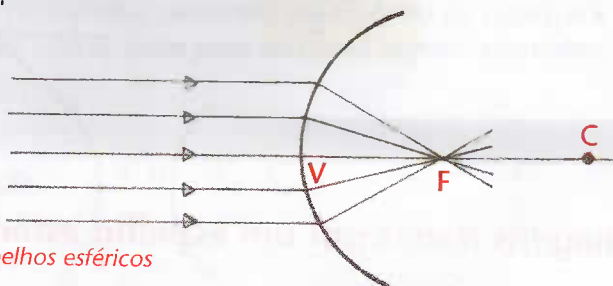


Fig. 4.25 - Espelhos esféricos



a - Côncavo: a parte reflectora é a zona interna da calote

b - Convexo: a parte reflectora é a zona externa da calote

Elementos principais de um espelho esférico

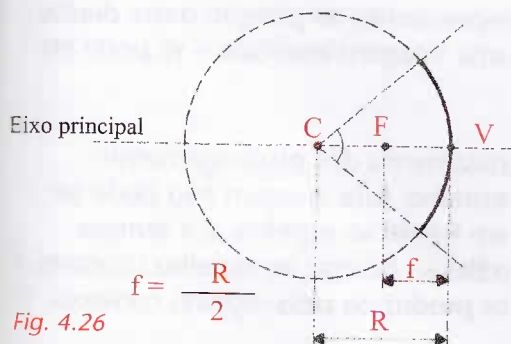


Fig. 4.26

Principais Elementos

- C = Centro de curvatura
- F = Foco principal
- V = Vértice do espelho
- R = Raio de curvatura
- f = Distância focal
- α = Ângulo de abertura

Obtenção experimental do foco de um espelho côncavo

- Vire para o Sol a zona reflectora (interna) de um espelho esférico côncavo.
- Em frente à zona espelhada, coloque uma folha de papel, de maneira a que não tape o caminho dos raios solares incidentes no espelho.

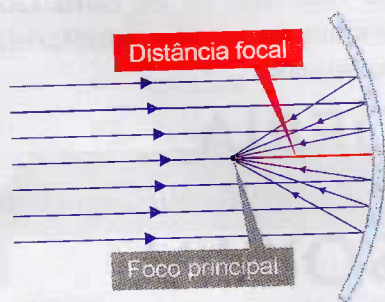


Fig. 4.27 - Foco de um espelho côncavo

Verá surgir, na zona do eixo principal, um ponto luminoso muito forte. Esse ponto luminoso é a imagem real do Sol e recebe o nome de **foco principal** do espelho. O foco (F) do espelho esférico côncavo divide ao meio o raio de curvatura (R).

Os raios do sol incidem paralelamente ao eixo principal, e, ao serem reflectidos pelo espelho, cruzam-se no foco. O ponto F é o ponto médio do segmento CV, sito é:

$$f = \frac{R}{2}$$

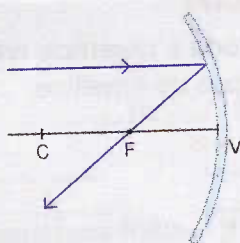


Fig. 4.28

Imagens dadas por um espelho esférico

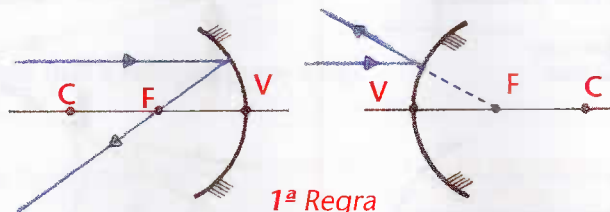
Um espelho esférico pode fornecer dois tipos de imagens de um objecto real

- Imagem real:** é produzida pelo cruzamento efectivo dos raios luminosos depois de terem sido reflectidos pelo espelho. Esta imagem pode ser projectada num anteparo colocado em frente ao espelho e pode ser maior ou menor do que o objecto, dependendo da posição deste diante da superfície reflectora. Em geral, é uma imagem invertida e só pode ser fornecida pelo espelho côncavo.
- Imagem virtual:** é produzida pelo cruzamento dos prolongamentos dos raios luminosos reflectidos pelo espelho. Esta imagem não pode ser projectada num anteparo colocado em frente ao espelho, e é sempre maior do que o objecto no caso da reflexão ocorrer no espelho côncavo. É sempre localizada atrás do espelho.

Para construirmos as imagens de um objecto dadas por um espelho esférico, devemos obedecer a, pelo menos, duas das três regras ilustradas pelas imagens que se seguem:

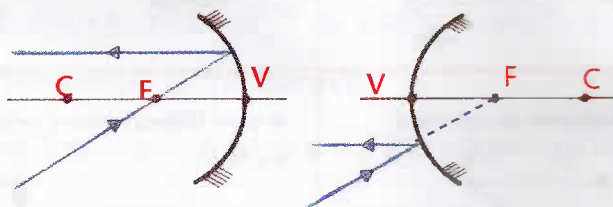
- 1ª - O raio luminoso que incide no espelho paralelamente ao eixo principal, será reflectido de modo a passar pelo foco principal do espelho.

Fig. 4.29



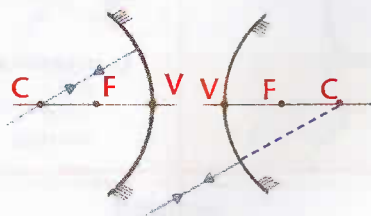
1ª Regra

- 2ª - O raio luminoso que incide no espelho passando pelo foco principal, será reflectido paralelamente ao eixo principal.



2ª Regra

- 3ª - O raio luminoso que incide no espelho passando pelo centro de curvatura será reflectido sobre si mesmo, isto é, volta para trás pelo mesmo caminho.

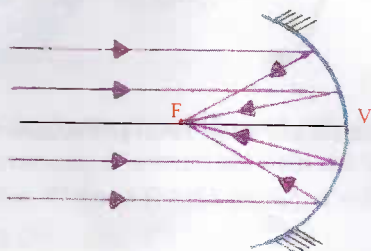


3ª Regra

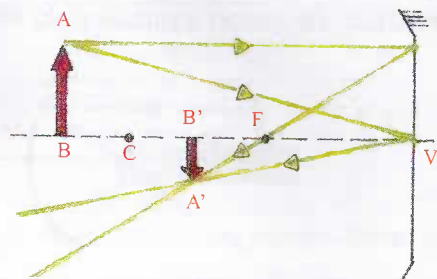
Construção das imagens num espelho côncavo

1º caso: Objecto no infinito: Todos os raios luminosos vindos de um ponto muito distante do espelho incidem nele paralelamente ao eixo principal e, por isso, ao serem reflectidos, cruzam-se todos no foco. A imagem é:

- Real
- Um ponto (pontual)
- Localizada no foco



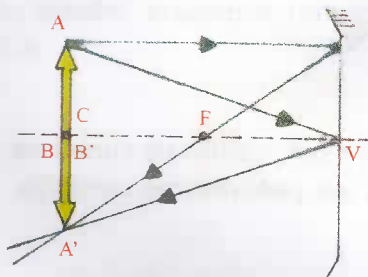
2º caso: Objecto antes do centro de curvatura:



Características da imagem:

- real
- menor
- invertida

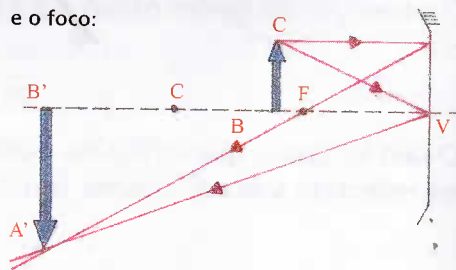
3º caso: Objecto no centro de curvatura:



Características da imagem:

- real
- igual
- invertida

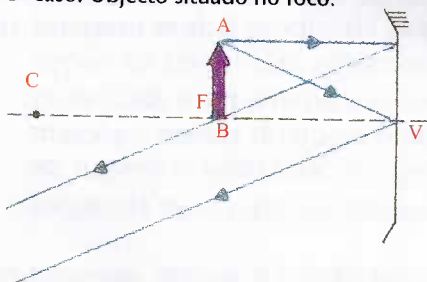
4º caso: Objecto entre o centro de curvatura e o foco:



Características da imagem:

- real
- maior
- invertida

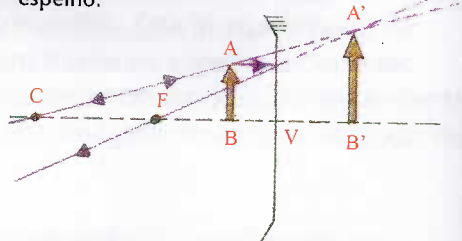
5º caso: Objecto situado no foco:



Características da imagem:

A imagem é denominada imprópria, pois os raios reflectidos são paralelos.

6º caso: Objecto entre o foco e o vértice do espelho:



Características da imagem:

- virtual
- direita
- maior

Fig. 4.30 - Casos de construção de imagens num espelho côncavo

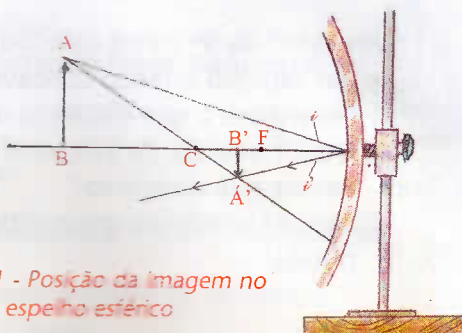
Equação principal dos espelhos esféricos

Dadas a distância focal (f) e a distância do objecto ao espelho (p), é possível determinar, analiticamente, a posição da imagem (p') em relação ao espelho.

Pode-se mostrar que a relação entre essas

três grandezas é:
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Fig. 4.31 - Posição da imagem no espelho esférico



Os triângulos rectângulos ABC e A'B'C são semelhantes $\frac{AB}{A'B'} = \frac{BC}{B'C}$

Como $B'C = CV - B'V = R - p' = 2f - p'$ e $BC = BV - CV = p - R = p - 2f$ e $\frac{AB}{A'B'} = \frac{h}{h'} = \frac{p}{p'}$

Substituindo na expressão acima, teremos

$$\frac{p}{p'} = \frac{p - 2f}{2f - p'} \Leftrightarrow 2fp - pp' = p'p - 2fp' \Leftrightarrow 2fp + 2fp' = pp' + pp'$$

$$2fp + 2fp' = 2pp'$$

Dividindo cada um dos membros desta última expressão por $2fpp'$, obtemos:

$$\frac{2fp}{2fpp'} + \frac{2fp'}{2fpp'} = \frac{2pp'}{2fpp'} \Leftrightarrow \frac{1}{p'} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f}$$

o que é o mesmo que escrever:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Resumo

$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$ equação principal do espelho esférico: permite determinar as posições da imagem, do objecto e do foco do espelho.

$\frac{h}{h'} = \frac{p}{p'}$ equação das alturas do objecto e da imagem: permite determinar a altura da imagem ou do objecto.

$A = \frac{h'}{h}$ ou $A = \frac{p'}{p}$ equação do aumento linear transversal: diz-nos quantas vezes a imagem é maior ($A > 1$) ou menor ($A < 1$) do que o objecto.

Exercícios resolvidos

1. Um aluno da 9ª classe colocou uma vela com 10 cm de altura a 60 cm de um espelho esférico côncavo com 20 cm de distância focal.
- Determine a que distância do espelho se forma a imagem da vela.
 - Qual é a altura da imagem? Quantas vezes a imagem é maior ou menor que o objecto?
 - Faça a construção geométrica da imagem. Caracterize a imagem obtida.

Resolução

Dados: $h = 10 \text{ cm}$; $p = 60 \text{ cm}$; $f = 20 \text{ cm}$ Pedidos: $p' = ?$ $h' = ?$

a) Usando a equação principal dos espelhos esféricos, podemos facilmente responder ao pedido que foi feito:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Leftrightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} \Leftrightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{20} - \frac{1}{60} \Leftrightarrow \frac{1}{p'} = \frac{3-1}{60} \Leftrightarrow \frac{1}{p'} = \frac{2}{60} \Leftrightarrow p' = 30 \text{ cm}$$

b) Recorrendo às equações da altura e do aumento linear transversal, obtemos:

$$\frac{h}{h'} = \frac{p}{p'} \Leftrightarrow h' = \frac{h \cdot p'}{p} = \frac{10 \cdot 30}{60} = 5 \text{ cm} \quad \text{e} \quad A = \frac{h'}{h} \Leftrightarrow A = \frac{5}{10} \Leftrightarrow A = \frac{1}{2}$$

(a imagem é 2 vezes menor)

- c) Para construirmos a imagem do objecto, vamo-nos socorrer das regras de construção: a regra do raio que incide paralelamente ao eixo principal (reflecte-se passando pelo foco); a regra do raio que incide passando pelo foco (reflecte-se paralelamente ao eixo principal); e a regra do raio que incide no espelho passando pelo centro de curvatura (reflecte-se sobre si mesmo).

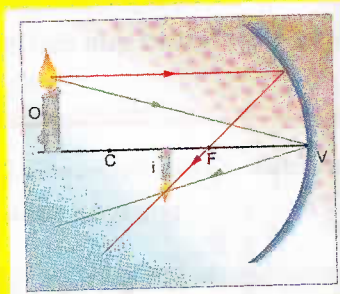


Fig. 4.32

De referir que bastam dois destes três raios para se determinar geometricamente a imagem, a qual, como se pode ver, tem as seguintes características:

- É uma imagem real (forma-se no cruzamento dos raios reflectidos).
- É uma imagem invertida.
- É uma imagem menor que o objecto.
- É uma imagem que se forma entre o centro de curvatura e o foco.

2. Um objecto com 8 cm de altura foi colocado a 15 cm do vértice de um espelho esférico côncavo com 30 cm de distância focal.

- Determine a distância "imagem-espelho".
- Determine a altura da imagem e o aumento linear transversal.
- Construa e caracterize a imagem.

Resolução

Dados: $h = 8 \text{ cm}$; $p = 15 \text{ cm}$; $f = 30 \text{ cm}$ Pedidos: $p' = ?$ $h' = ?$ construção

a) Usando a equação principal dos espelhos esféricos, podemos facilmente responder ao pedido que foi feito:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Leftrightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} \Leftrightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1}{30} - \frac{1}{15} \Leftrightarrow \frac{1}{p'} = \frac{1-2}{30} \Leftrightarrow \frac{1}{p'} = -\frac{1}{30} \Leftrightarrow p' = -30 \text{ cm}$$

Repare que a distância "imagem-espelho" é negativa ($p' = -30 \text{ cm}$). Isto significa que a imagem é virtual, pois forma-se atrás do espelho pelo cruzamento dos prolongamentos dos raios reflectidos.

b) Recorrendo às equações da altura e do aumento linear transversal, obtemos:

$$\frac{h}{h'} = \frac{p}{p'} \Leftrightarrow h' = \frac{h \cdot p'}{p} = \frac{8 \cdot (-30)}{15} = -16 \text{ cm} \text{ e } A = \frac{h'}{h} \Leftrightarrow A = \frac{-16}{8} \Leftrightarrow A = -2$$

(a imagem é 2 vezes maior que o objecto, porém direita, uma vez que $A = -2$).

c) Para construirmos a imagem vamos, uma vez mais, recorrer às regras de construção:

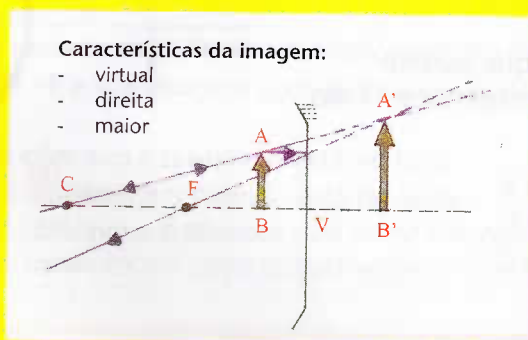


Fig. 4.33



ATIVIDADES

- Um objecto é colocado a 30 cm de um espelho côncavo, de distância focal igual a 20 cm. Determine:
 - A que distância do espelho se forma a imagem.
 - A altura da imagem.
 - O aumento linear transversal.
 - Explique o significado desse aumento.
 - Na escala de 1/10, construa a imagem e, em seguida, caracterize-a.
- Um espelho côncavo tem 80 cm de raio. Um objecto real é colocado a 30 cm do vértice do espelho.
 - Determine a que distância do vértice do espelho surgirá a imagem.
 - A imagem é real ou virtual? Justifique a resposta.
 - Numa escala adequada, faça a construção geométrica da imagem.
 - Caracterize a imagem.
- Com um espelho côncavo, pretende-se obter uma imagem virtual de um objecto real. Então, o objecto deve estar:
 - No centro de curvatura do espelho.
 - No foco do espelho.
 - Entre o centro de curvatura e o foco.
 - Entre o foco e o vértice do espelho.
- Na figura ao lado, aparecem um espelho côncavo, um objecto O à sua frente e três imagens hipotéticas A, B e C do referido objecto. Dentre elas, as que podem realmente ser imagens de O são:
 - A, B e C.
 - Somente A e B.
 - Somente A e C.
 - Somente B e C.
 - Somente C.

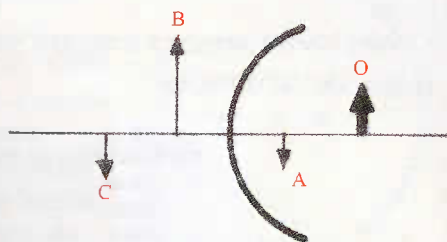


Fig. 4. 34

- A figura representa um objecto diante de um espelho esférico côncavo e a sua imagem nele reflectida.

- a) Qual deve ser a localização do objecto, para que o espelho forneça a imagem da figura?
- b) Caracterize a imagem.
- c) Faça a construção geométrica da imagem que justifique as respostas anteriores.

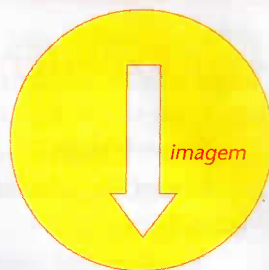


Fig. 4. 35

6. Construa e caracterize a imagem de um objecto localizado antes do centro de curvatura de um espelho côncavo.

7. Dado o objecto e a respectiva imagem fornecida por um espelho:

- a) O espelho é plano ou côncavo?
- b) Justifique a resposta anterior com uma construção geométrica adequada.



Fig. 4. 36

8. Para examinar o dente de uma pessoa, o dentista utiliza um pequeno espelho. A respeito do espelho utilizado e da distância do dente ao espelho, podemos afirmar:
 - a) É côncavo e a distância é maior que a distância focal.
 - b) É plano.
 - c) É convexo e a distância é qualquer.
 - d) É côncavo e a distância é menor que a distância focal.

9. Justifique a resposta do exercício anterior com uma construção geométrica adequada.

10. Quando um objecto de tamanho A é colocado em frente a um espelho, um observador vê a sua imagem com tamanho 3A. Podemos então afirmar que:

- a) O espelho é côncavo e o objecto está no foco.
- b) O espelho é convexo e o objecto está no foco.
- c) O espelho é côncavo e o objecto está entre o foco e o vértice.
- d) O espelho é convexo e o objecto está entre o foco e o vértice.

meio é menor do que o índice de refração do primeiro meio e, como consequência, ao passar do primeiro para o segundo meio, o valor da velocidade da luz aumenta.

Assim, podemos dizer que o ar é menos refrangente do que o vidro e que a velocidade da luz no ar é maior do que no vidro.

Leis da refração da luz

O fenómeno da refração da luz obedece a duas leis semelhantes às da reflexão.

A luz incide no meio (1) de tal forma que o raio de luz incidente forma um ângulo θ_1 com a normal (N) à superfície (S) no ponto de incidência. Este raio é refractado, formando um ângulo θ_2 com a normal (N) à superfície no ponto de incidência.

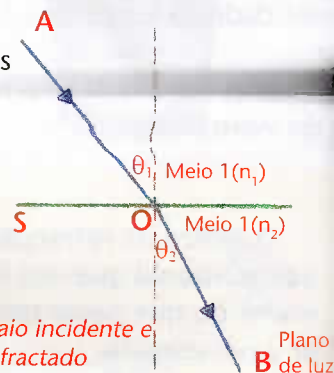


Fig. 4.40 - Raio incidente e raio refractado

1ª Lei da Refracção: O raio incidente (AO), a normal no ponto de incidência (ON) e o raio refractado (OB) estão no mesmo plano.

A segunda lei estabelece uma relação entre os ângulos de incidência, de refração e os índices de refração dos meios, a qual é conhecida como **Lei de Snell-Descartes**:

2ª Lei da Refracção: Os senos dos ângulos de incidência e de refração são inversamente proporcionais aos índices de refração dos respectivos meios.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Lâmina de faces paralelas

Uma lâmina de faces paralelas é constituída por duas faces planas e paralelas entre si (chamadas dioptros planos e paralelos: D_1 e D_2) e é usada para deslocar o raio de luz de uma posição para uma nova posição, sofrendo um desvio lateral d , sem mudar a direcção dos raios luminosos.



- O raio luminoso (AO), ao incidir na primeira face (D_1) da lâmina, refracta-se, aproximando-se da normal N_1 , uma vez que o vidro é mais refrangente do que o ar.
- O raio luminoso (BO) refractado pela primeira face da lâmina vai incidir na segunda face (D_2) e, ao passar do vidro para o ar, sofre um desvio, afastando-se da normal N_2 , de tal forma que o raio emergente (BC) apenas sofre um desvio lateral sendo, por isso, paralelo ao raio incidente na primeira face.

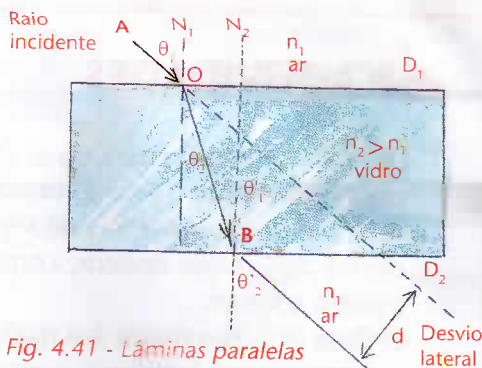


Fig. 4.41 - Lâminas paralelas

Reflexão total e ângulo limite

Considere uma fonte de luz O no interior de uma placa de vidro. Ao incidirem na superfície de separação "vidro-ar", os raios são refractados de maneira a afastarem-se da normal no ponto de incidência.

Aumentando-se gradualmente o ângulo de incidência, o raio refractado vai afastando-se cada vez mais da normal, até que, para um determinado ângulo de incidência " L ", o raio refractado emerge no ar rasando a superfície de separação dos dois meios. A este fenómeno, que ocorre no ponto d, dá-se o nome de **emergência rasante** e ao ângulo de incidência " L " que o originou, designa-se por **ângulo limite**.

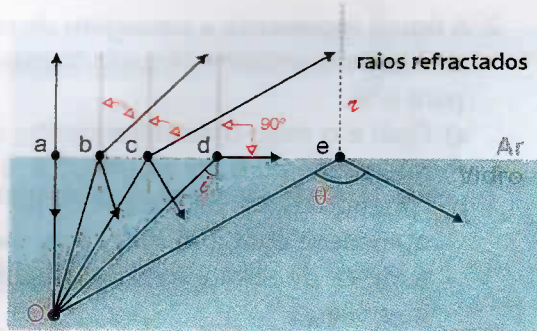


Fig. 4.42 - Reflexão total

Se aumentarmos ainda mais o ângulo de incidência para um valor superior ao do ângulo limite " L ", a luz deixa de se refractar. Neste caso, diz-se que ocorre no ponto e, a **reflexão total da luz**.

Para que se possa observar o fenómeno da reflexão total, é necessário:

- Que a luz passe de um meio mais refrangente para um meio menos refrangente, por exemplo, do vidro para o ar, etc.
- Que o ângulo de incidência (θ) seja maior que o ângulo limite (L).
- Que para valores do ângulo de incidência (θ) menores que o ângulo limite (L), ocorram os fenómenos de reflexão e refacção em simultâneo.
- Que para valores do ângulo de incidência (θ) iguais ao ângulo limite (L), ocorra o fenómeno da emergência rasante



ACTIVIDADES

- Um raio luminoso passa do ar (meio 1) para o diamante (meio 2) depois de ter incidido na superfície de separação destes dois meios ópticos, como mostra a figura.

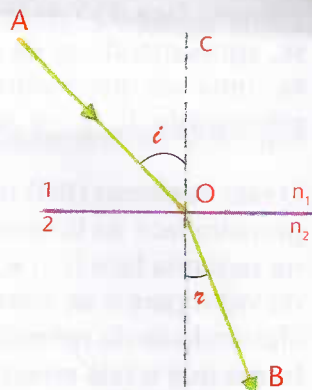


Fig. 4.43

- Qual dos dois meios é o mais refrangente? Justifique a resposta.
- Sabendo que a velocidade da luz no ar é $c = 3 \cdot 10^8$ m/s e que o índice de refração absoluto do diamante é de 2,5, determine a velocidade da luz no meio (2).
- Para que se possa observar o fenómeno da reflexão total, em qual dos dois meios, ar ou diamante, a luz deve incidir? Justifique a resposta.

- A figura representa a passagem de um raio de luz do querosene (líquido transparente) para o ar.

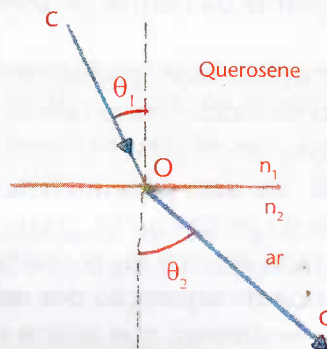


Fig. 4.44

- Qual é o meio mais refrangente, o querosene ou o ar? Justifique a resposta.
- Sabendo que a velocidade da luz no querosene é de 206 900 km/s, determine o índice de refração absoluto do querosene.

- A figura ao lado representa a passagem de um raio de luz da água para o ar. Sabe-se que θ é o ângulo limite na água.

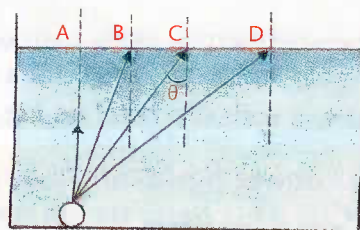


Fig. 4.45

- Desenhe o trajecto aproximado de cada raio luminoso, depois de incidir na superfície de separação dos dois meios.
- Que nome tem o fenómeno que ocorre com o raio luminoso em C?
- Que nome tem o fenómeno que ocorre com o raio luminoso em D? Explique as condições para a sua visualização.

- Um garoto observa um peixe num lago. Pela figura, pode constatar-se que a imagem do peixe aparece num plano mais elevado.

- a) Explique a causa deste "estranho" fenómeno.
- b) Muitas crianças morrem nas piscinas por causa de um fenómeno semelhante ao da figura. Explique a causa da "ilusão de óptica", que leva as crianças a pensar que "têm pé" ao olharem para o fundo da piscina.



Fig. 4.46

Lentes delgadas

De uma forma muito simplificada, podemos dizer que uma **lente** é um meio óptico transparente, limitado por duas faces, das quais, pelo menos uma, é curva.

Então, uma lente esférica pode ser considerada como a intersecção de duas esferas.

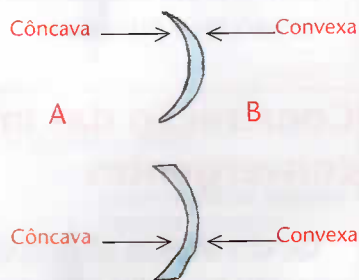


Fig. 4.47

Classificação das lentes: dependendo do formato das suas faces, as lentes podem ser:

Lentes convergentes ou lentes positivas



Lentes divergentes ou lentes negativas



Fig. 4.48

Durante o nosso estudo, vamos abordar apenas as **lentes convergentes bi-convexas**: aquelas que são limitadas por duas superfícies esféricas iguais (simétricas). Os elementos de uma lente bi-convexa são:

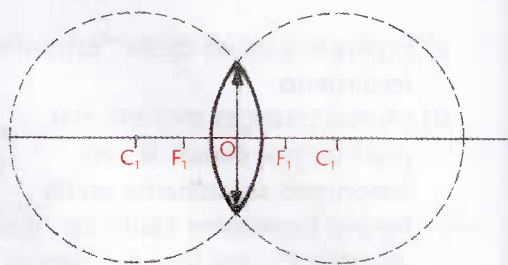


Fig. 4.49 - Lentes biconvexas

C_1 C_2 - eixo principal: recta que une os centros das superfícies esféricas.

O - centro óptico: centro da lente.

F_1 e F_2 – **focos da lente**: pontos do eixo principal (um de cada lado da lente), onde convergem todos os raios que incidem na lente paralelamente ao seu eixo principal.

Construção das imagens dadas pelas lentes convergentes

De um objecto situado diante dela, uma lente dá uma imagem devido à refacção que a luz sofre ao atravessá-la. Para construirmos a imagem de um objecto dado por uma lente, devemos obedecer a pelo menos duas das seguintes regras:

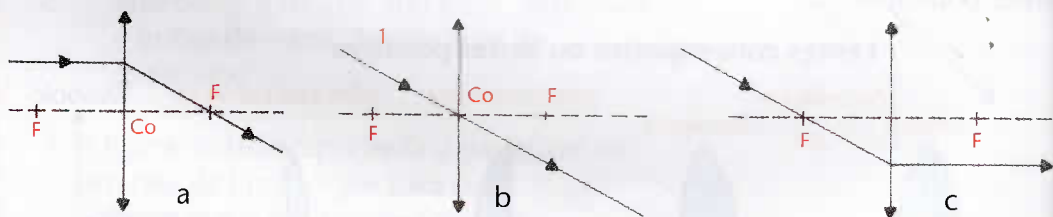


Fig. 4.50 - Raios notáveis nas lentes convergentes

1ª – O raio que incide paralelamente ao eixo principal refracta-se passando pelo foco.

2ª – O raio que incide passando pelo centro óptico segue o seu caminho sem sofrer desvio.

3ª – O raio que incide na lente, passando pelo foco, refracta-se paralelamente ao eixo principal.

Nas lentes convergentes, bi-convexas, devemos considerar os seguintes casos de construção das imagens:

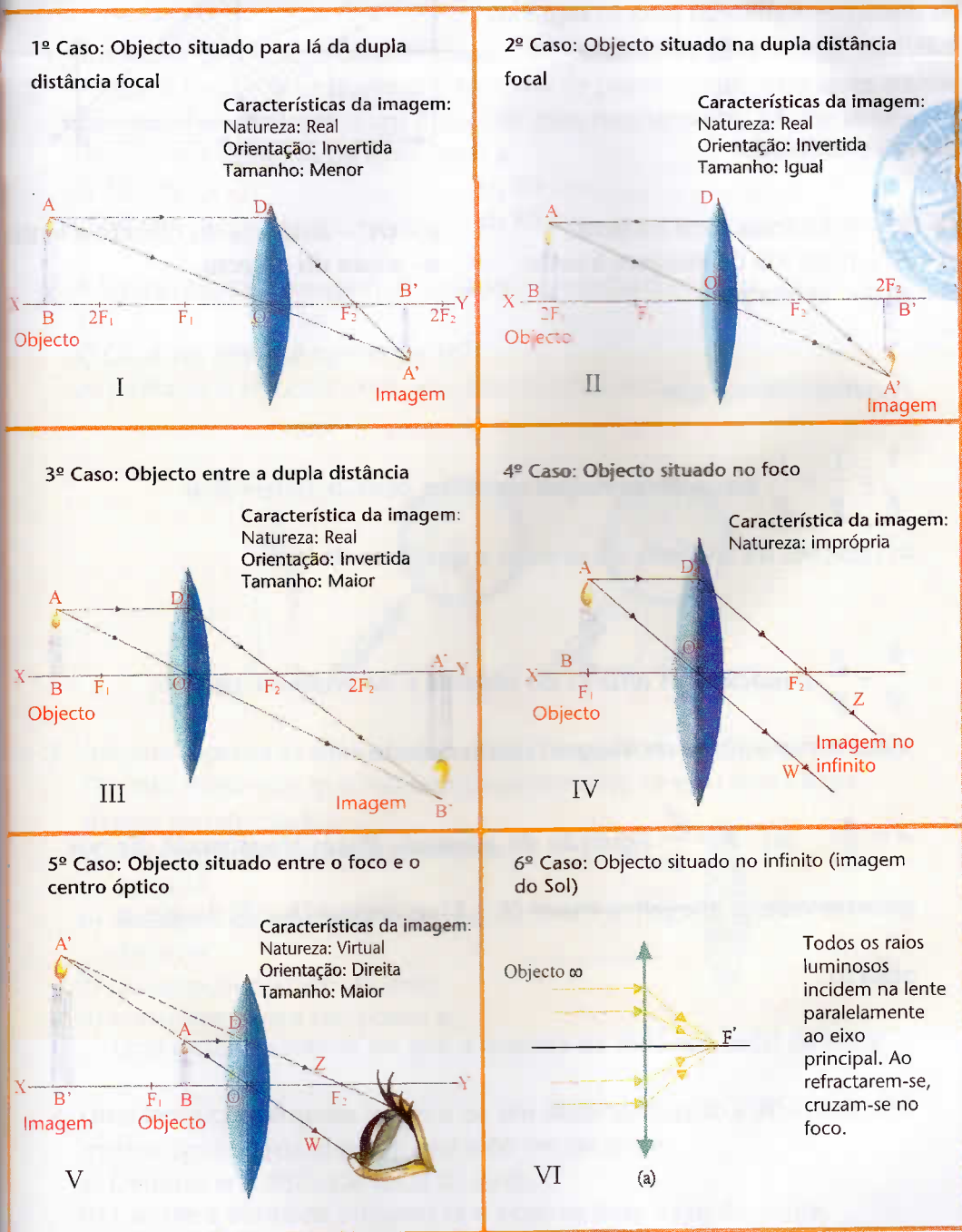


Fig. 4.51 - Casos de construção de imagens nas lentes convergentes, biconvexas

Equação das lentes

As equações analisadas para os espelhos esféricos também são válidas para as lentes.

Assim considerado:

$f = FC$ – a distância focal da lente;
 $p' = IC$ – distância da imagem à lente;
 h' – altura da imagem;

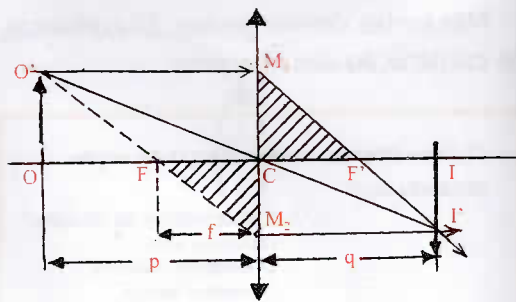


Fig. 4.52

$p = OC$ – distância do objecto à lente;
 h – altura do objecto.

Podemos afirmar que:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$
 equação principal da lente: permite determinar as posições da imagem, do objecto e dos focos da lente.

$$\frac{h}{h'} = \frac{p}{p'}$$
 equação das alturas do objecto e da imagem: permite determinar a altura da imagem ou do objecto.

$$A = \frac{h}{h'} \quad \text{ou} \quad A = \frac{p'}{p}$$
 equação do aumento linear transversal: diz-nos quantas vezes a imagem é maior ($A > 1$) ou menor ($A < 1$) do que o objecto.



ACTIVIDADES

- Um aluno da 9ª classe possui uma lente biconvexa de 20 cm de distância focal e quer queimar uma folha de papel usando essa lente e a luz solar. Para alcançar o seu objectivo mais rapidamente, a folha deve estar a uma distância da lente igual a:
a) 10 cm
b) 20 cm
c) 40 cm
d) 80 cm
- A figura mostra a imagem de uma vela projectada em duas lentes, L_1 e L_2 .
a) Qual das lentes é convergente?
b) Justifique a resposta com uma construção geométrica adequada.



Fig. 4.53 - Vela projectada em duas lentes

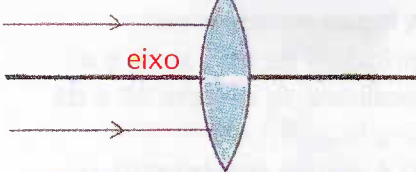
3. A figura representa uma lente de vidro fina, biconvexa, situada no ar. Os raios luminosos que incidam paralelamente ao eixo dessa lente, depois de refractados:
- a) convergem no centro geométrico da lente.
 - b) divergem do centro geométrico da lente.
 - c) convergem no foco da lente.
 - d) convergem para um ponto a uma distância menor do que a metade da distância focal da lente.
- 
- O diagrama mostra uma lente biconvexa azul com um eixo central rotulado 'eixo' em vermelho. Três raios luminosos paralelos, representados por linhas pretas com setas, incidem da esquerda para a direita sobre a lente. Após a refração, os raios convergem para um ponto localizado entre a lente e o seu foco principal à direita.
- Fig. 4.54 - Lente de vidro fina*



Fig. 4.54 - Lente de vidro fina

4. Uma lente convergente fornece de um objecto situado a 20 cm de seu centro óptico uma imagem real a 60 cm de lente.
 - a) Determine a distância focal da lente.
 - b) Calcule a altura da imagem se o objecto tiver 5 cm de altura.
 - c) Determine o aumento linear transversal da imagem.
 - d) Na escala de 1/10, construa a imagem e, em seguida, caracterize-a.
5. Uma lente convergente formará uma imagem real e maior que o

objecto quando a distância "objecto-lente" for:

- a) Menor que a distância focal da lente.
- b) Igual à distância focal da lente.
- c) Maior que a distância focal e menor que a dupla distância focal.
- d) Maior que o raio de curvatura da lente.

6. A distância focal de uma lente convergente é de 10,0 cm. Para receber a imagem de um objecto com 1 cm de altura colocado diante da lente, foi colocado um anteparo a 0,5 m da lente.

- a) A que distância da lente deve ser colocado o objecto?
- b) Qual será, então, a altura da imagem?
- c) Determine geometricamente a imagem, usando a escala de 1/10. Caracterize essa imagem.

7. Um objecto tem de altura $h = 20$ cm e está localizado a uma distância $p = 30$ cm de uma lente. Esse objecto produz uma imagem real de altura $h' = 4,0$ cm. A distância da imagem à lente, a distância focal e o tipo da lente são, respectivamente:

- a) 6,0 cm; 7,5 cm; convergente.
- b) 1,7 cm; 30 cm; divergente.
- c) 6,0 cm; -7,5 cm; divergente.
- d) 6,0 cm; 5,0 cm; divergente.

8. Um insecto com 1 cm de altura foi colocado a 3 cm de uma lupa (lente convergente) com 2 cm de distância focal.

- a) A que distância da lupa deve ser colocado um anteparo para receber a imagem do insecto?
- b) Que ampliação dá a lupa do insecto?
- c) Construa e caracterize a imagem do insecto.

9. A figura mostra o eixo principal de uma lente e as posições do objecto AB e da sua imagem A'B'.

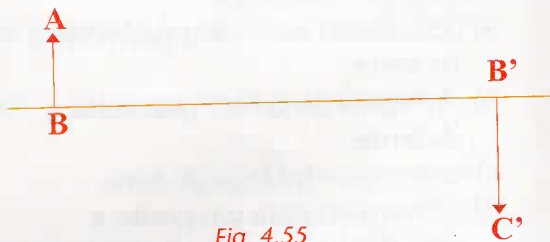


Fig. 4.55

- a) A lente é convergente ou divergente? Justifique a resposta.
- b) Encontre, geometricamente, as posições da lente e dos seus focos.

10. Um objecto com 5 cm de altura foi colocado a 30 cm de uma lente biconvexa com 60 cm de distância focal. Determine:

- a) A que distância da lente aparecerá a imagem?
- b) A imagem é real ou virtual? Justifique a resposta.
- c) Qual é o aumento linear transversal dado pela lente?
- d) Na escala de 1/10, faça a construção geométrica da imagem.

Instrumentos Ópticos

Os **instrumentos ópticos** desempenham um papel importante no nosso modo de viver. Uma lupa, um microscópio ou um telescópio são exemplos de instrumentos ópticos. Alguns instrumentos envolvem apenas um componente (uma lente – como a lupa) ou podem envolver vários componentes (prismas, espelhos e lentes). De uma maneira muito breve, vamos abordar neste capítulo e, em linha gerais, o princípio de funcionamento de alguns dos instrumentos ópticos mais importantes.

A lupa

A **lupa** é um instrumento óptico que consiste de uma lente com a capacidade de ampliar imagens. Também é chamada de microscópio simples. Utilizamos a lupa para observar com mais detalhes pequenos objectos ou áreas de uma superfície.

A lupa é composta (normalmente) por uma lente biconvexa – portanto convergente – de pequena distância focal. Foi criada por Roger Bacon, em 1250, por meio de sua primeira invenção: o óculo.



Fig. 4.55 - A lupa é um instrumento óptico

O microscópio óptico

Os **microscópios ópticos** são usados em pesquisas biológicas.

São compostos por uma parte mecânica que serve de suporte e uma parte óptica que é constituída de três lentes: o condensador, a objectiva e a ocular.

O aumento total de ampliação dada por um microscópio é igual ao aumento da objectiva multiplicado pelo aumento da ocular. A ocular tem como função ampliar o material, ao passo que a objectiva aumenta o poder de resolução, que é a capacidade de diferenciar entre dois objectos muito próximos.

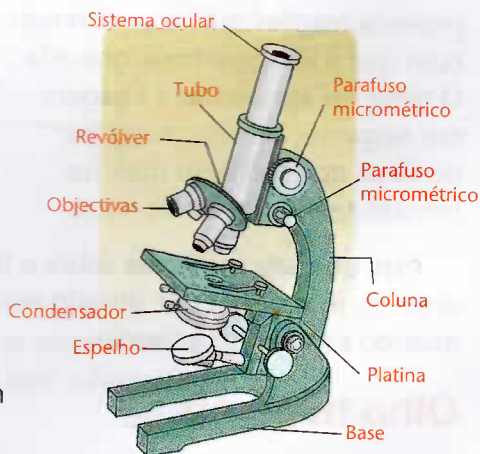
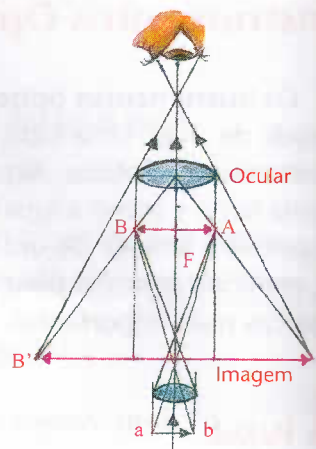


Fig. 4.56 - Microscópio óptico

A visualização das imagens nas lâminas observadas ao microscópio óptico podem ser de diversas colorações, dependendo dos diversos tipos de corantes usados, cada qual oportunamente, com o objectivo de evidenciar a estrutura do estudo em questão.

Fig. 4.57 - Funcionamento do microscópio óptico



Máquina fotográfica

As máquinas fotográficas evoluíram muito. Antigamente, a objectiva da máquina fotográfica era constituída de uma única lente (a), mas actualmente é constituída de várias lentes (b).



Fig. 4.58 - Máquina fotográfica

Na figura que se segue (Fig. 4.59), está representada a câmara fotográfica simplificada, sem os refinamentos ópticos ou mecânicos. A objectiva está representada por uma única lente convergente, que forma uma imagem real e invertida do objecto fotografado sobre o filme situado na parte posterior da máquina.

A luz, ao incidir sobre o filme, provoca reacções químicas, fazendo com que a imagem fique gravada. O filme vai apresentar a imagem em negativo, ou seja, as partes do filme que recebem mais luz tornam-se escuras e vice-versa.

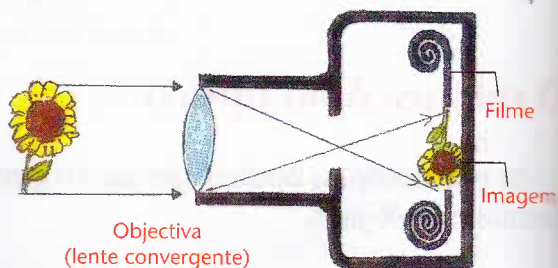


Fig. 4.59 - Funcionamento da máquina fotográfica

Para que seja fornecida sobre o filme uma imagem real e menor do que o objecto, este deve estar situado antes da dupla distância focal, como já vimos quando estudámos as lentes.

Olho humano

O olho humano é, sem dúvida, o sistema óptico mais perfeito que existe, e a sua constituição é a seguinte:

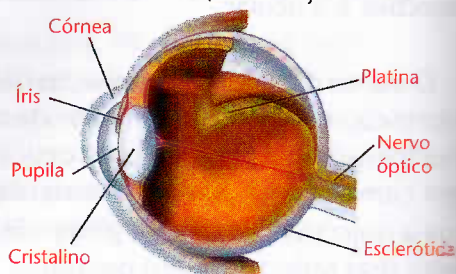


Fig. 4.60 - Olho humano

Córnea: refracta os raios de luz que entram nos olhos e protege a estrutura interna do olho.

Íris: é a porção visível e colorida do olho logo atrás da córnea. A sua função é regular a quantidade de luz que entra nos nossos olhos.

Pupila: é a abertura central da íris, através da qual a luz passa.

Cristalino: é uma lente biconvexa natural do olho e a sua função é auxiliar na focalização da imagem sobre a retina.

Retina: é a membrana fina que preenche a parede interna e posterior do olho, que recebe a luz focalizada pelo cristalino. Contém fotoreceptores que transformam a luz em impulsos eléctricos, que o cérebro pode interpretar como imagens.

Nervo óptico: transporta os impulsos eléctricos do olho para o centro de processamento do cérebro para a devida interpretação.

Esclerótida: é a capa externa, fibrosa, branca e rígida que envolve o olho. É a estrutura que dá forma ao globo ocular.

Como é que nós vemos?

Os nossos olhos são como uma câmara fotográfica. Ambos têm uma abertura para a passagem de luz, uma lente e um anteparo onde a imagem é recebida.

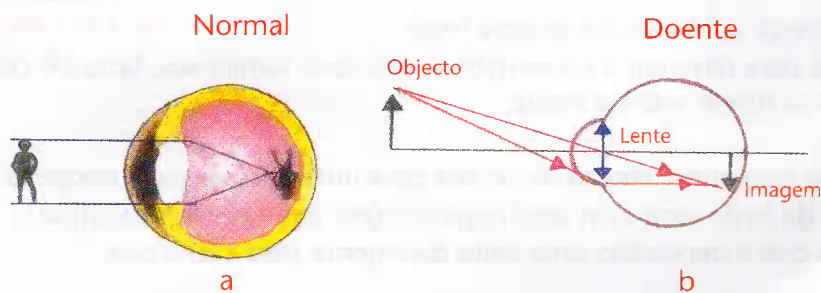


Fig. 4.61

- a) No olho normal, a imagem forma-se sobre a retina
- b) Esquema da formação da imagem num olho reduzido

Defeitos da visão e sua correcção

Antes de estudar os **defeitos da visão e sua correcção**, vamos entender como o olho se acomoda para ver os objectos em diferentes posições, variando a distância focal da lente do olho.

O cristalino, que é uma lente convergente, possui, ligado a ele, um conjunto de músculos provocando variações nas curvaturas das suas faces e, consequentemente, na distância focal. Portanto, para uma determinada posição do objecto, os músculos ajustam a distância focal do cristalino para que a imagem seja formada sobre a retina. Essa propriedade do olho é denominada **acomodação visual**. Uma pessoa de visão normal pode ver objectos situados desde uma distância média convencional de 25 cm (posição conhecida como ponto próximo) até o infinito.

Vejamos agora algumas deficiências da visão

A) Miopia

A pessoa que possui miopia tem o globo ocular um pouco mais alongado que o normal.

Nesse caso, a imagem forma-se antes da retina e a pessoa não vê o objecto com nitidez.

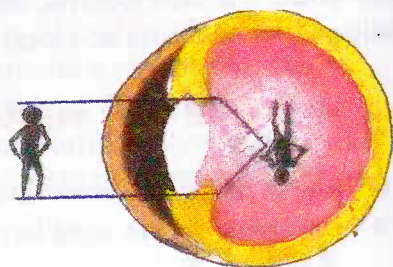


Fig. 4.62 - Miopia

Para corrigir a miopia usa-se uma lente divergente para diminuir a convergência dos raios luminosos, fazendo com que a imagem se forme sobre a retina.

Observe que numa receita de óculos para uma pessoa que é míope, a vergência da lente vem com sinal negativo (por exemplo: - 5 dioptrias), indicando que é necessário uma lente divergente para correcção.

B) Hipermetropia

As pessoas que apresentam **hipermetropia**, ao contrário da miopia, apresentam o globo ocular mais curto que o normal, fazendo com que a imagem se forme atrás da retina.

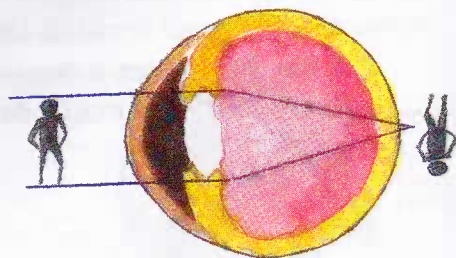


Fig. 4.63 - Hipermetropia

Para corrigir a hipermetropia, usa-se uma lente convergente para aumentar a convergência dos raios, fazendo com que a imagem se forme exatamente sobre a retina.

Nesse caso, a receita de óculos para uma pessoa com hipermetropia vem com a vergência positiva (+ 5 di), indicando que é necessária uma lente convergente para a correção.

Presbiopia ou "vista cansada"

Quando a pessoa vai envelhecendo, o cristalino vai perdendo a elasticidade e a pessoa fica com dificuldade para ver ao perto. A imagem do objecto forma-se depois da retina, como na hipermetropia. Para corrigir, é utilizada uma lente convergente.

INFORMAÇÃO ÚTIL

ANEXO 1

ALGUNS DADOS MATEMÁTICOS

ÁREAS E VOLUMES DE FIGURAS PLANAS E SÓLIDOS

	Área	Volume
Retângulo	$c \cdot \ell$	—
Quadrado	ℓ^2	—
Triângulo	$\frac{b \cdot h}{2}$	—
Trapézio	$\frac{(B + b) \cdot h}{2}$	—
Paralelogramo	$b \cdot h$	—
Losango	$\frac{D \cdot d}{2}$	—
Cubo	$6 \cdot a^2$	a^3
Esfera	$4 \cdot \pi \cdot r^2$	$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$
Cilindro	$2 \cdot \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$	$S_{base} \cdot h = \pi \cdot r^2 \cdot h$

ANEXO 2

SISTEMAS DE UNIDADES

Sistema Internacional (SI) ou Sistema Métrico

- a) **Criação:** estabelecido pela **Conferência Geral de Pesos e Medidas**, em 1954, em Paris.
A partir de 1960, passa a chamar-se **Sistema Internacional de Unidades** (SIU)
- b) **Objectivo** – a cada grandeza física corresponde uma só unidade, com seus múltiplos e submúltiplos.
- c) **Organização do SI**

* **Grandezas de base** (fundamentais) – são as **grandezas independentes** umas das outras.

Grandeza de base		Unidade SI	
Nome	Símbolo	Nome	Símbolo
Comprimento	l	Metro	m
Massa	m	Quilograma	kg
Tempo	t	Segundo	s
Intensidade de corr. eléctrica	I	Ampere	A
Temperatura	T	Kelvin	K
Quantidade de matéria	n	Mole	mol
Intensidade luminosa	I_v	candela	cd

* **Grandezas derivadas** – são as grandezas definidas como função das grandezas de base que com elas se relacionam. Obtêm-se através de equações de definição.

Exemplos:

- volume

$$V = a.b.c$$

$$m^3$$

- velocidade

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

$$m/s = m.s^{-1}$$

- aceleração

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

$$m/s^2 = m \cdot s^{-2}$$

- força

$$F = m \cdot a$$

$$kg \cdot m \cdot s^{-2} = \text{Newton (N)}$$

* Múltiplos e submúltiplos decimais

Formam-se por meio de **factores de conversão** pelos quais as unidades SI são multiplicadas.

Múltiplos		
deca	da	10^1
hecto	h	10^2
quilo	k	10^3
mega	M	10^6
giga	G	10^9
tera	T	10^{12}

Submúltiplos		
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}

Usam-se os factores de conversão para converter medidas expressas em uma unidade (ex. gramas) em outra unidade (ex. miligrama ou quilograma).

Exemplos:

✓ $500 \text{ cm}^3 = ? \text{ m}^3$

$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m} \dots$

logo, $500 \text{ cm}^3 = 500 \times (10^{-2})^3 \text{ m}^3 = 500 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

✓ $536 \text{ cm}^3 = ? \text{ litros}$

$1 \text{ l} = 1000 \text{ cm}^3 = 10^3 \text{ cm}^3$

ou $1 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ l}$ ($10^{-3} \rightarrow$ factor de conversão)...

logo, $536 \text{ cm}^3 = 536 \times 10^{-3} \text{ l} = 0,536 \text{ l}$

✓ $1,03 \times 10^4 \text{ cal} = ? \text{ J}$

$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$ ($4,18 \rightarrow$ factor de conversão)...

logo, $1,03 \times 10^4 \times 4,18 = 4,31 \times 10^4 \text{ J}$

d) Fracções decimais e múltiplas de unidades SI, com nomes especiais.

Grandeza	Nome da Unidade	Símbolo	Definição
Comprimento	angstrom	\AA	10^{-10} m
Volume	litro	l	10^{-3} m^3
Massa	tonelada	t	10^3 kg
	Bar	bar	10 N.m^{-2}
Pressão	Pascal	pa	N.m^{-2}

QUADRO DE UNIDADES DE ALGUMAS GRANDEZAS FÍSICAS

Nome e símbolo da grandeza	
Aceleração	a, g
Calor específico	c
Campo eléctrico	E
Campo magnético	B
Capacidade eléctrica	C
Capacidade térmica	C
Carga eléctrica	Q, q
Comprimento	ℓ
Densidade	ρ
Diferença de potencial	$\Delta U, \Delta V, U, V$
Energia/ trabalho calor	E, W, Q
Força	$F, P,$
Frequência	f
Indutância	L
Intensidade da corrente	I
Massa	m, M
Potência	P, p
Potencial eléctrico	U, V
Pressão p	P, p
Resistência eléctrica	R, r
Resistividade	ρ
Superfície, área	S, A
Temperatura termodinâmica	t, T
Tempo, período	t, T
Velocidade	v
Velocidade angular	ω
Volume	V

Nome e símbolo da Unidade no SI	
Metro por segundo ao quadrado	m/s^2
Joule por quilograma por Kelvin	$J/kg.K$
Newton por Coulomb ; Volt por metro	$N/C ; V/m$
Tesla	T
Farad	F
Joule por Kelvin	J/K
Coulomb	C
Metro	m
Quilograma por metro cúbico	Kg/m^3
Volt	V
Joule	J
Newton	N
Hertz	Hz
Henry	H
Ampere	A
Quilograma	kg
Watt	W
Volt	V
Newton por metro quadrado (Pascal)	$N/m^2 (Pa)$
Ohm	Ω
Ohm vezes metro	$\Omega.m.$
Metro quadrado	m^2
Kelvin	K
Segundo	s
Metro por segundo	m/s
Radiano por segundo	rad/s
Metro cúbico	m^3

ANEXO 3

ALGUMAS CONSTANTES UNIVERSAIS

Nome e Símbolo da Constante	
Velocidade da luz no vácuo	c
Carga elementar	e
Massa de repouso do electrão	m_e
Massa de repouso do protão	m_p
Massa de repouso do neutrão	m_n
Constante de Planck	h
Constante de Stefan-Boltzmann	G
Constante de Wiem	b
Constante gravitacional	G

Valor da Constante no SI	
3.10^8 m/s	
$1,6.10^{-19}$ C	
$9,1.10^{-31}$ kg	
$1,67.10^{-27}$ kg	
$1,68.10^{-27}$ kg	
$6,626.10^{-34}$ J.s	
$5,67.10^{-8}$ W/m ² .K ⁴	
$2,9.10^{-3}$ m.K	
$6,67.10^{-11}$ N/m ² .kg	

ANEXO 4

ALGUNS DADOS SOBRE O SISTEMA SOLAR

	Mercúrio	Vénus	Terra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Neptuno
Massa (relativa à Terra) ($.10^{24}$ kg)	0,0055	0,815	5,98	0,108	317,9	95,2	14,6	17,2
Distância média ao Sol (U A)	0,387	0,723	1	1,524	5,203	9,539	19,18	30,06
Período de revolução (dias / anos)	88 d	224,7 d	365,26 d	687 d	11,86 a	29,46 a	84,01 a	164,8 a
Período de rotação (dias / h)	59 d	- 243 d	1 d	1,1 d	10 h	10,25 h	- 11 h	16 h
Diâmetro equatorial (km)	4880	12104	12756	6787	142800	120000	51800	49500
Densidade (água = 1)	5,4	5,2	5,5	4,0	1,3	0,7	1,2	1,7
Pressão (atm)	10-6	90	1	0,006	????	????	????	????
Aceleração da gravidade (m/s ²)	3,63	8,63	9,81	3,73	25,9	11,28	11,48	11,58

ALGUNS DADOS SOBRE A TERRA, A LUA E O SOL

	Terra	Lua	Sol
Massa (kg)	$5,98 \cdot 10^{24}$	$7,36 \cdot 10^{22}$	$1,99 \cdot 10^{30}$
Distância média ao corpo que orbita (m)	$1,49 \cdot 10^{11}$	$3,8 \cdot 10^8$	-
Raio (km)	6378	1738	696000
Densidade (kg/m ³)	3340	5522	1410
Aceleração da gravidade na superfície (m/s ²)	9,81	1,67	274

BIBLIOGRAFIA

1. R. Resnick e D. Halliday, FÍSICA 1, 2, 3 E 4 - 4ª edição - 1983, Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A., Rio de Janeiro, Brasil
2. James P. Hurley e Claud Garrod, PRINCIPI DI FISICA - 1ª edição - 1986. Zanichelli Editore, Bologna, Itália.
3. Paul Tipler, FÍSICA - VOLUMES 1, 2, 3 E 4 - 3ª edição - 1991, Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A., Rio de Janeiro, Brasil.
4. Frederick J. Keller, W. Edward Gettys e Malcolm J. Skove, FÍSICA: VOLUMES 1 E 2. MAKRON Books do Brasil Editora Ltda.
5. Regina A. Bonjorno, José R. Bonjorno, Valter Bonjorno e Clinton M. Ramos, 2º GRAU: FÍSICA, 1988. Editora FTD, SA, São Paulo, Brasil.
6. Anatoli Leuchin e José Lourenço Cindra, PROBLEMAS DE FÍSICA - PARTES I E II, Faculdade de Educação - Departamento de Matemática e Física, UEM - Maputo, Mocambique.
7. Universidade Eduardo Mondlane, FÍSICA: MANUAIS TEÓRICOS I E II, Departamento de Ciências Básicas, UEM - Maputo, Moçambique.
8. Adelaide Bello, Carlos Portela e Helena Caldeira, RITMOS E MUDANÇAS, Física 12º ano, 1ª parte. Porto Editora, Portugal.
9. Beatriz Alvarenga e António Máximo, CURSO DE FÍSICA 1, 2 E 3, 2ª edição - 1986, Editora Harper & Row do Brasil, São Paulo, Brasil.
10. G. Miakishhev, B. Bukhovtsev, FÍSICA 1, 2, 3 E 4 - 1987. Editora Mir Moskov, Rússia.
11. E. J. C. Martinho, J. Da Costa Oliveira, M. A. Fortes, MATEMÁTICA PARA O ESTUDO DA FÍSICA - 1985. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

12. Vália Aléxieva Popova, SEBENTA DE FÍSICA – 2001 a 2006. ISCTEM, Maputo, Moçambique.
13. Vália Aléxieva Popova, SEBENTA DE FÍSICA-QUÍMICA – 2000 a 2007. ISCTEM, Maputo, Moçambique.

João Paulo Menezes



João Paulo Menezes nasceu em Angoche, província de Nampula, a 6 de Novembro de 1965. Em 1982 ingressou na Faculdade de Educação da Universidade Eduardo Mondlane, em Maputo, onde fez o Curso de Formação de Professores de Matemática e Física. Ao abrigo do Projecto "MINED-CROCEVIA", deslocou-se a Roma, Itália, para fazer um Curso de Técnicas de Laboratório de Física. Lecciona actualmente a disciplina de Física no Instituto Nília e na Escola

Secundária do ISCTEM, em Maputo.

É autor de 5 livros de física, nomeadamente:

"Física - 9ª classe - Diname"; "Física para Todos - 8ª e 9ª Classes - ENM; "Física 10ª Classe - F₁₀ - Texto Editores; "Física - Acesso ao Ensino Superior" - 2008 - Texto Editores.

Actualmente, encontra-se a escrever o livro de "Física Para Todos", 12ª classe, ao abrigo dos novos programas - ENM.

Fabião Feniosse Nhabique



Fabião Feniosse Nhabique nasceu a 2 de Setembro de 1962, em Zilo, Distrito de Massinga, Província de Inhambane. É Licenciado em Ensino de Matemática e Física pela Universidade Pedagógica de Maputo. Fez, em 1983, o Curso de Formação de Professores de Matemática e Física para a 7ª, 8ª e 9ª classes na Faculdade de Educação da Universidade Eduardo Mondlane, em Maputo. De 1984 a 1989, leccionou na Escola Secundária de Cambine, em Inhambane,

as disciplinas de Matemática e Física, e depois, em Maputo, nas Escolas Secundária Josina Machel e Secundária Noroeste 1.

É, desde 1985, Editor de Matemática e Física na Diname e Professor na Escola Secundária Noroeste - 1.

Arnaldo Natingue Sefane



Arnaldo Natingue Sefane nasceu em Massinga, Província de Inhambane, a 09 de Abril de 1964. É formado em Matemática e Física para as 7^a, 8^a e 9^a classes pela Faculdade de Educação da Universidade Eduardo Mondlane (1983). É especializado em técnicas de experimentação em laboratórios de Física pela Crócevia, na Itália (1987). É ainda Bacharel em Economia e Educação pela Escola Superior de Contabilidade e Gestão da Universidade Pedagógica. Como docente, leccionou Física nas Escolas Secundárias Emília Dausse, Cambine, Mocumbi, Industrial e Comercial Eduardo Mondlane, em Inhambane, e nas Escolas Secundárias de Lhanguene e São Joaquim, em Maputo.

SÍMBOLOS DA REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE



BANDEIRA NACIONAL



EMBLEMA

HINO NACIONAL

Pátria Amada

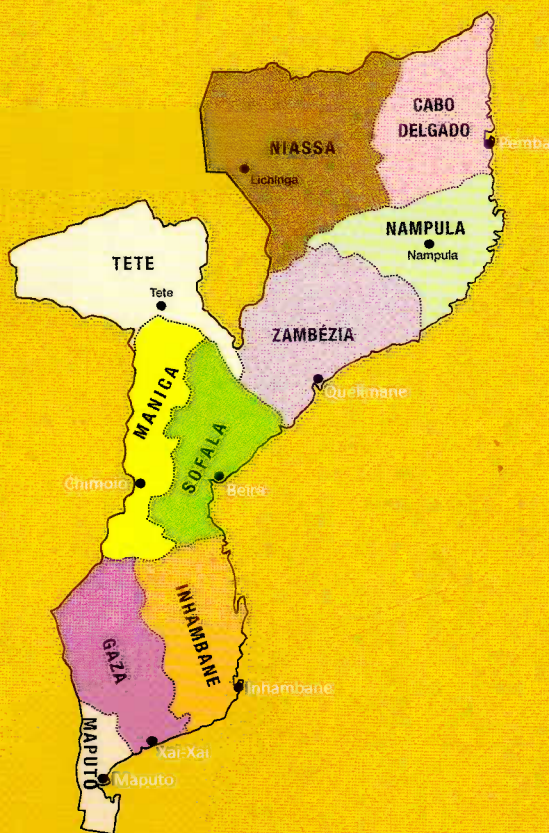
Na memória de África e do Mundo
Pátria bela dos que ousaram lutar
Moçambique, o teu nome é liberdade
O sol de Junho para sempre brilhará

Coro

Moçambique nossa terra gloriosa
Pedra a pedra construindo o novo dia
Milhões de braços, uma só força
O pátria amada, vamos vencer

Povo unido do Rovuma ao Maputo
Colhe os frutos do combate pela Paz
Cresce o sonho ondulando 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



MAPA DE MOÇAMBIQUE



Diname



ISBN 978-0-85320-669-9



9 780853 206699