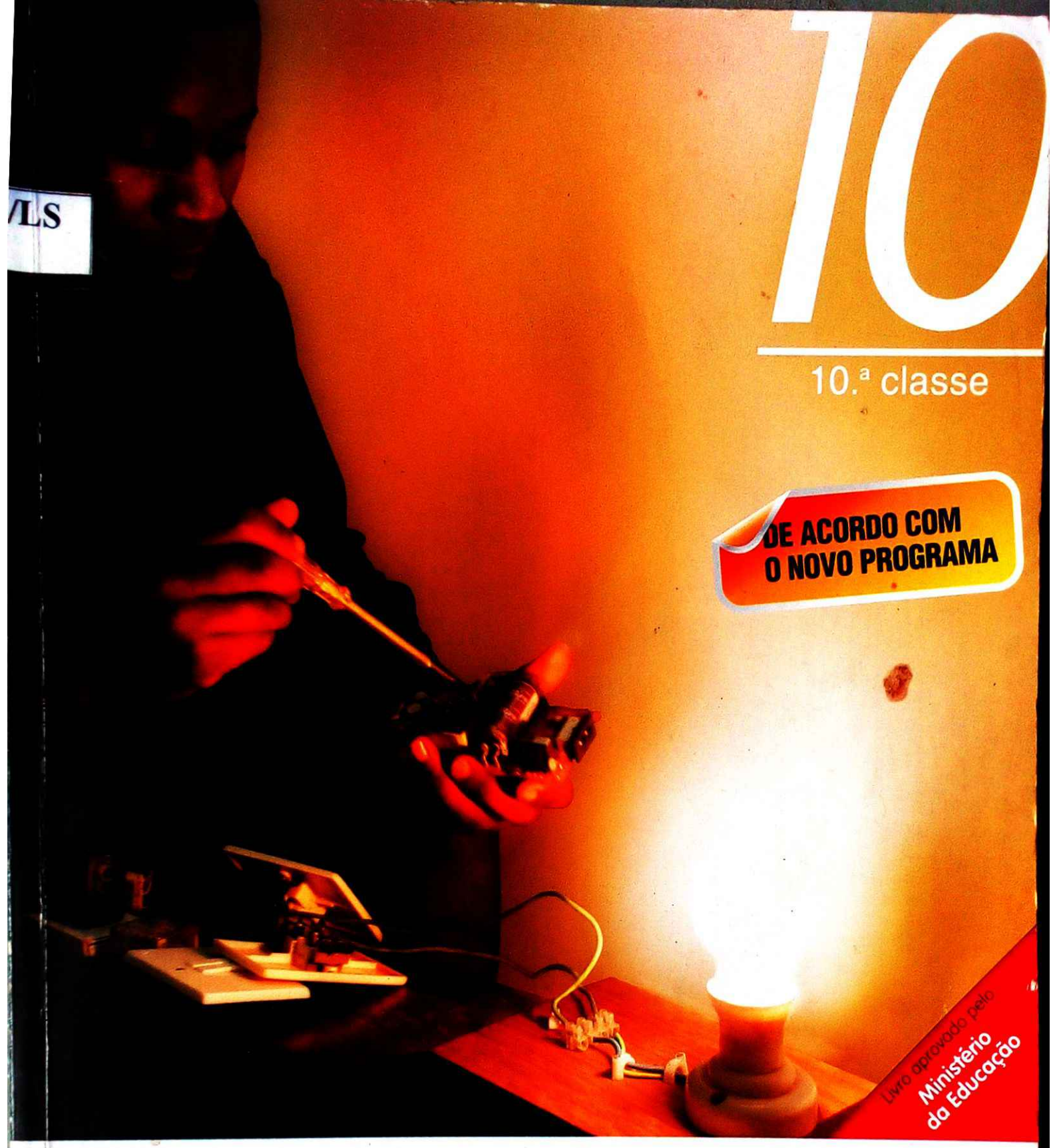


10

10.ª classe

DE ACORDO COM O NOVO PROGRAMA

Livro aprovado pelo Ministério da Educação

Vália Aléxieva / Sara Lima

AMO A VIDA

Física

PLURAL EDITORES
GRUPO PORTO EDITORA

LIVRO DO ALUNO

10

10.ª classe

Vália Aléxieva
Sara Lima

Física

PLURAL EDITORES
GRUPO PORTO EDITORA

Resumindo...

Já sei...

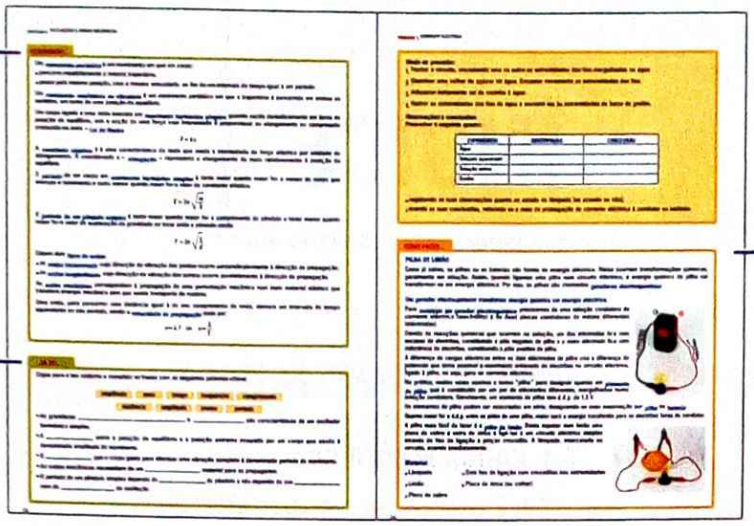
Como fazer...

Eu discuto...

Sabias que...

Actividade experimental

Aplico



ÍNDICE

1. CORRENTE ELÉCTRICA

10 1. CARGA ELÉCTRICA
10 1.1. Electrização e cargas eléctricas
13 1.2. Electroscópios
14 1.3. Condutores e isoladores

15 2. NOÇÕES DE CAMPO ELÉCTRICO

21 3. CORRENTE ELÉCTRICA
21 3.1. O que é uma corrente eléctrica?
22 3.2. Sentido da corrente eléctrica
23 3.3. Intensidade da corrente eléctrica
23 3.4. Tensão (diferença de potencial) eléctrica
25 3.5. Circuito eléctrico
26 3.6. Resistência eléctrica
27 3.7. Lei de Ohm
28 3.8. Associação de resistências eléctricas
32 3.9. Potência eléctrica
32 3.10. Lei de Joule
33 3.11. Aparelhos de medição da corrente eléctrica

2. OSCILAÇÕES E ONDAS MECÂNICAS

46 1. INTRODUÇÃO

47 2. MOVIMENTO HARMÓNICO SIMPLES

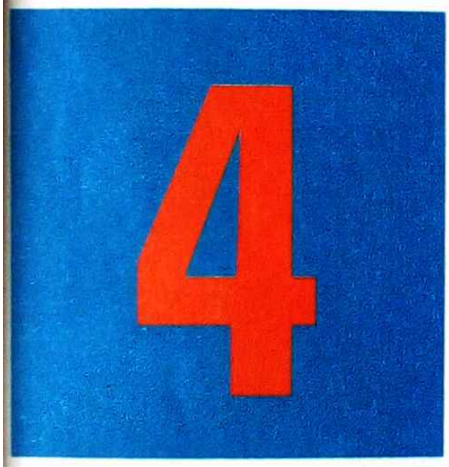
48 3. CARACTERÍSTICAS DE UM OSCILADOR HARMÓNICO SIMPLES
49 3.1. Período do movimento harmónico simples
50 3.2. Pêndulo simples

51 4. MOVIMENTO ONDULATÓRIO
52 4.1. Tipos de ondas
54 4.2. Velocidade de propagação de uma onda

3. ELECTROMAGNETISMO

64 1. ÍMANES
65 1.1. Campos magnéticos criados por ímanes
67 1.2. Caracterização do campo magnético
67 1.3. Aplicação do campo magnético

68 2. CAMPOS MAGNÉTICOS CRIADOS POR CORRENTES ELÉCTRICAS
68 2.1. Experiência de Oersted
70 2.2. Electroíman
71 2.3. Aplicações dos electroímanes



4. MOVIMENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO

80 1. MOVIMENTO E REPOUSO – REVISÕES

80 2. GRANDEZAS FÍSICAS – REVISÕES
80 2.1. Trajectória, espaço percorrido e deslocamento
82 2.2. Rapidez média e velocidade média
82 2.3. Velocidade instantânea
83 2.4. Aceleração média

87 3. MOVIMENTO RECTILÍNEO UNIFORME (M.R.U.) – REVISÕES

90 4. MOVIMENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO (M.R.U.V.)

91 5. LEIS E GRÁFICOS DO MOVIMENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO (M.R.U.V.)
91 5.1. Movimento rectilíneo uniformemente acelerado (M.R.U.A.)
92 5.2. Movimento rectilíneo uniformemente retardado (M.R.U.R.)

93 6. EQUAÇÕES GERAIS DO MOVIMENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO (M.R.U.V.)

94 7. MOVIMENTO DE QUEDA LIVRE

103 SOLUÇÕES

1 CORRENTE ELÉCTRICA

1. CARGA ELÉCTRICA

1.1. Electrização e cargas eléctricas

1.2. Electroscópios

1.3. Condutores e isoladores

2. NOÇÃO DE CAMPO ELÉCTRICO

3. CORRENTE ELÉCTRICA

3.1. O que é uma corrente eléctrica?

3.2. Sentido da corrente eléctrica

3.3. Intensidade da corrente eléctrica

3.4. Tensão (diferença de potencial) eléctrica

3.5. Circuito eléctrico

3.6. Resistência eléctrica

3.7. Lei de Ohm

3.8. Associação de resistências eléctricas

3.9. Potência eléctrica

3.10. Lei de Joule

3.11. Aparelhos de medição da corrente eléctrica

1 CORRENTE ELÉCTRICA

Vou aprender

- O que é a carga eléctrica e a electrização dos corpos
- Leis qualitativas das interacções eléctricas
- Pêndulo eléctrico e electroscópio
- O que é o campo eléctrico

A corrente eléctrica ou electricidade é parte integrante do ramo da Física denominado Electromagnetismo. Nesta unidade vamos analisar e procurar entender uma grande variedade de fenómenos ligados à nossa vida diária – os fenómenos eléctricos. Hoje em dia o nosso modo de vida depende cada vez mais das técnicas e aparelhos eléctricos, que nos proporcionam uma qualidade de vida melhor.

1. Carga eléctrica

As primeiras descobertas dos fenómenos eléctricos datam da Grécia Antiga. No século V a. n. e. (antes da nossa era), o filósofo grego Tales, friccionando um pedaço de âmbar com pele de gato, observou que este começou a atrair corpos leves. Dois mil anos mais tarde, o médico inglês William Gilbert (1544-1603) descobriu que outros materiais também adquirem a propriedade de se atraírem e repelirem entre si quando friccionados.

1.1. Electrização e cargas eléctricas

A palavra grega correspondente a **âmbar** é ***élektron***, por isso Gilbert começou a usar o termo "electrizado" quando se referia aos corpos com comportamento semelhante ao do âmbar, surgindo assim as palavras "electrização", "electricidade", etc.

O sufixo **-dade** em português indica *propriedade*.

Assim, vem:

élektron + *dade* = electricidade

Hoje sabemos que quase toda a matéria pode ser electrizada. Uma régua fica electrizada quando friccionada com um pano de seda, passando, por isso, a atrair bolinhas de esferovite ou pedacinhos de papel.

Isso acontece até com um pente quando nos penteamos. É por isso que ele começa a atrair os nossos cabelos. Mas, por outro lado, os cabelos, quando electrizados, começam a repelir-se uns aos outros, pois são todos feitos da mesma matéria.

Fig. 1 – O pente electrizado atrai um fio fino de água.

A propriedade física da matéria, caracterizada pelas atracções e repulsões fortes entre os corpos electrizados, denomina-se carga eléctrica.

A unidade de medida de carga eléctrica no SI é o coulomb, C.

A carga eléctrica do electrão, a menor carga eléctrica conhecida, foi medida em 1911 por Millikan:

$$e = -1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{C}$$

1.1.1 Explicação do processo de electrização

Como já sabes, a matéria é constituída por átomos e estes, por sua vez, possuem um núcleo positivo, à volta do qual giram electrões carregados negativamente. O núcleo e os electrões mantêm-se unidos devido às forças electrostáticas.

Os átomos são electricamente neutros, ou seja, têm a mesma quantidade de carga negativa (electrões) e carga positiva (protões, que estão situados dentro do núcleo).

Quando os electrões são transferidos entre os corpos em interacção, eles ficam electrizados, de modo que:

- Os corpos cujos átomos perdem electrões electrizam-se **positivamente**, pois ficam com deficiência de electrões (carga negativa).
- Os corpos que recebem electrões ficam com excesso dos mesmos, electrizando-se **negativamente**.

Conhecendo a estrutura do átomo, conclui-se que:

- Um corpo não electrizado é neutro (possui igual número de protões e de electrões).
- A electrização de corpos em interacção deve-se à transferência de electrões entre eles.

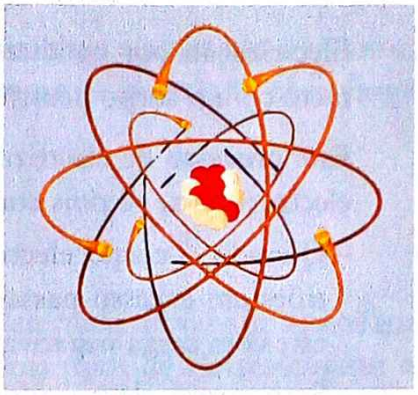


Fig. 2 – Os protões e os neutrões estão ligados dentro do núcleo por forças nucleares fortes, não podendo deslocar-se das suas posições através de processos de electrização.

Por que razão os corpos podem ser electrizados?

Os corpos electrizados possuem cargas negativas em excesso ou em defeito.

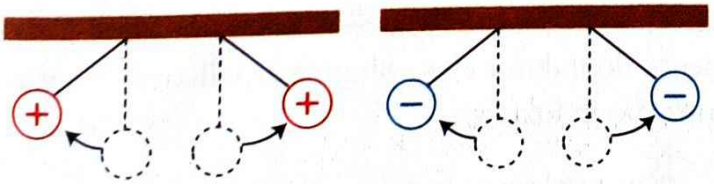
A quantidade de carga eléctrica de um corpo electrizado é um múltiplo inteiro da carga do electrão, conhecida como carga elementar:

$$Q = n \times e$$

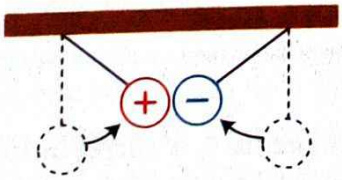
1.1.2. Leis qualitativas das interacções eléctricas

Já vimos que entre as cargas eléctricas em interacção (próximas umas das outras) existem forças de atracção e de repulsão, que obedecem às seguintes leis:

1.ª lei – As cargas eléctricas com o mesmo sinal repelem-se.



2.ª lei – As cargas eléctricas de sinais opostos atraem-se.



1.1.3. Processos de electrização de um corpo

Existem três métodos de electrização de um corpo:

- **Electrização por fricção** – tanto o corpo friccionado como o friccionador ficam electrizados, um com carga positiva e outro com carga negativa, devido à transferência de electrões entre eles.

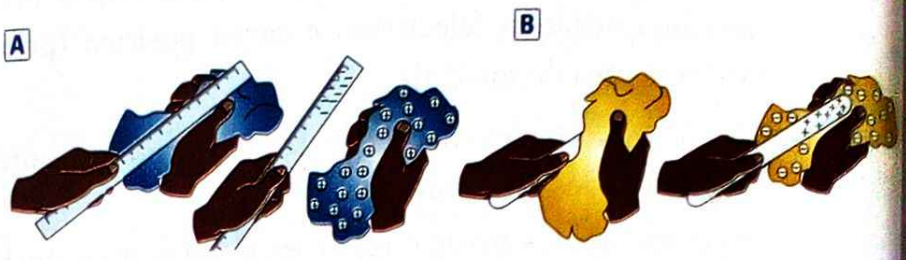


Fig. 3 – **Electrização por fricção**. A régua de plástico friccionada com um pano de lã electriza-se negativamente (**A**), enquanto a barra de vidro fica carregada positivamente (**B**).

- **Electrização por contacto** – o corpo electrizado entra em contacto com o corpo neutro, adquirindo os dois a mesma carga.

Este processo de electrização também se deve à transferência de electrões entre os dois corpos. Vejamos:

– Quando o corpo electrizado é negativo, parte dos seus electrões em excesso passa para o corpo neutro, ficando também este com carga negativa.

– Se o corpo electrizado for positivo (tem deficiência de electrões), o corpo neutro cede electrões, ficando igualmente com carga positiva.

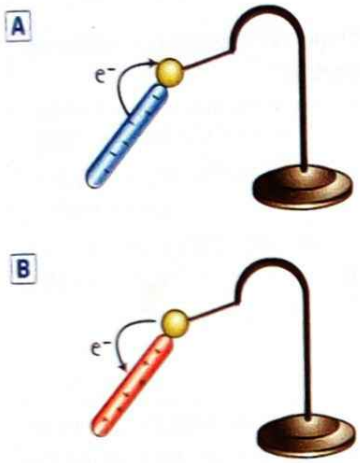


Fig. 4 – **Electrização por contacto**. Quando uma barra carregada negativamente toca numa esfera neutra esta fica carregada negativamente (**A**) e vice-versa, ou seja, uma esfera tocada por uma barra carregada positivamente fica electricamente positiva (**B**).

- **Electrização por indução ou influência** – o corpo electrizado (indutor ou influenciador) aproxima-se de um corpo neutro (induzido ou influenciado), mas sem tocar nele. As extremidades do corpo neutro ficam electrizadas – a mais próxima com carga oposta à do indutor e a mais afastada com carga igual.

Existem dois tipos de electrização por indução:

– **Electrização temporária** – aproximando o indutor do corpo neutro, as cargas com o mesmo sinal afastam-se. Após o afastamento do indutor elas voltam a espalhar-se homogeneamente pelo corpo induzido.

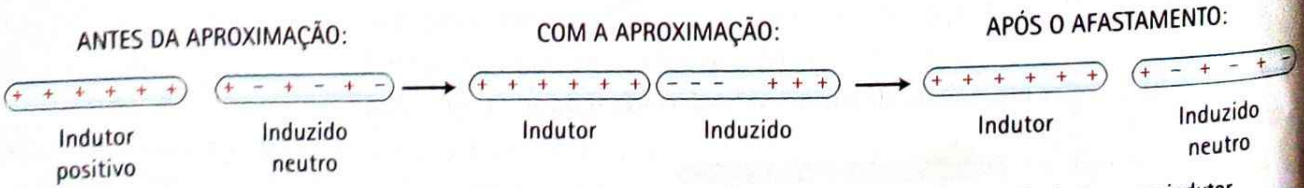


Fig. 5 – **Electrização temporária por indução**. O corpo induzido permanece electrizado apenas na proximidade do corpo indutor.

– **Electrização permanente** – o corpo induzido fica sempre carregado com carga de sinal oposto ao do indutor.

Este tipo de electrização ocorre em três etapas (Fig. 6):

Etapa A – Aproximando o indutor, carregado positivamente, da esfera neutra (corpo induzido), as cargas negativas da esfera são atraídas para a zona mais próxima do indutor.

Se afastarmos o indutor, as cargas da esfera redistribuir-se-ão, voltando ao estado inicial (electrização temporária).

Etapa B – Ligando o lado positivo da esfera à terra através de um fio metálico, os seus electrões vão-se deslocalizar e neutralizar as cargas positivas. A esfera agora está com excesso de electrões, ou seja, carregada negativamente.

Etapa C – Cortando a ligação com a terra e retirando o indutor, a esfera fica permanentemente carregada com carga negativa.

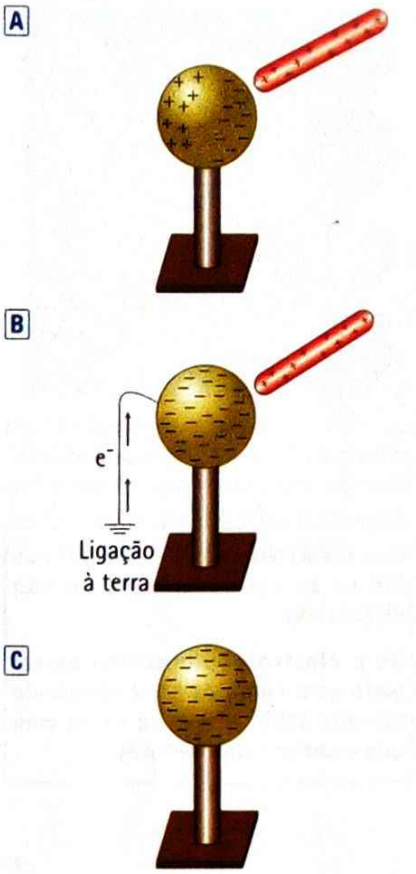


Fig. 6 – **Electrização permanente por indução**. Depois de afastar a barra electrizada (indutor), a esfera neutra (induzido) continua carregada negativamente.

1.2. Electroscópios

A electrização dos corpos pode ser detectada através de aparelhos denominados **electroscópios**. Existem dois tipos de electroscópios: o pêndulo eléctrico e o electroscópio de folhas.

1.2.1. Pêndulo eléctrico

Este é o modelo de electroscópio mais simples. É constituído por uma esfera leve, revestida por uma folha metálica e suspensa na extremidade de um fio, preso a um suporte. Aproximando da esfera um corpo electrizado positiva ou negativamente esta é atraída (Fig. 4).

Através do pêndulo eléctrico podemos determinar o tipo de carga de um corpo. Para isso é preciso electrizar a esfera do pêndulo com carga conhecida.

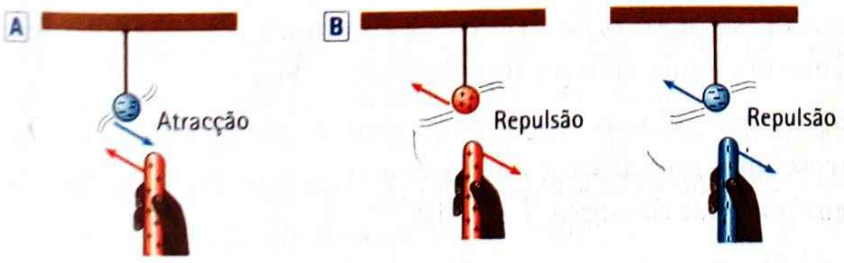


Fig. 7 – Determinação da carga de um corpo electrizado: **(A)** atracção entre a esfera e o corpo; **(B)** repulsão entre a esfera e o corpo.

Assim, se a esfera for atraída pelo corpo, significa que este tem carga oposta à da esfera (Fig. 7 A); se a esfera for repelida, significa que a carga do corpo é igual à da esfera (Fig. 7 B).

1.2.2. Electroscópio de folhas

Este aparelho, constituído por uma haste condutora, introduzi... num balão ou frasco de vidro, possui uma esfera metálica na s... extremidade exterior. Na outra extremidade encontram-se duas folh... metálicas leves, que podem fechar e abrir livremente (Fig. 8).

Para determinar se um corpo está ou não electrizado, basta apro... ximá-lo da esfera, sem tocar nela. Se o corpo estiver electrizado, a part... metálica do electroscópio electriza-se por condução. A esfera fica com... carga oposta e as folhas com carga do mesmo sinal do indutor, por isso... elas afastam-se uma de outra, abrindo (Fig. 8). Com o afastamento d... indutor, a carga eléctrica redistribuir-se-á e as folhas fecharão.

Um **electroscópio neutro** apenas indica se um corpo está ou não electrizado.

Se o electroscópio estiver carregado com carga de sinal conhecido permite saber o tipo de carga com que o corpo está electrizado.

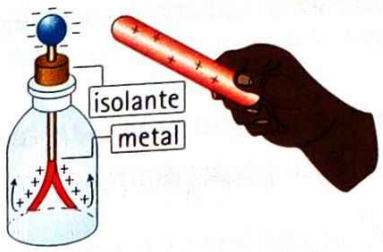


Fig. 8 – Electroscópio de folhas.

Com o electroscópio de folhas também podemos determinar a carga de um corpo electrizado (Fig. 9). Para isso é preciso electrizar o electroscópio por contacto com carga conhecida. As suas folhas ficarão abertas, pois possuem carga do mesmo sinal.

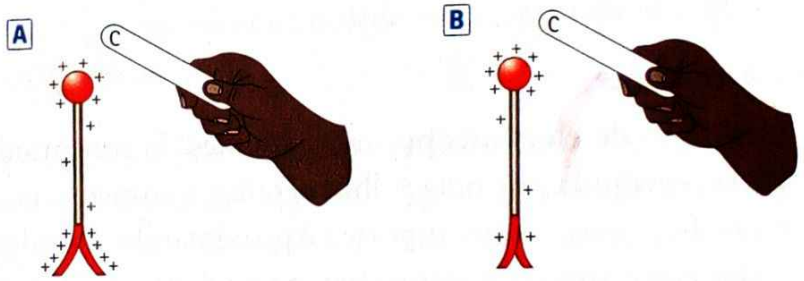


Fig. 9 – **Determinação da carga de um corpo electrizado**. As folhas do electroscópio carregado positivamente abrem se o corpo C for positivo **(A)** e fecham se o corpo C for negativo **(B)**.

Aproximando da esfera um corpo electrizado, as folhas do electroscópio vão:

- afastar-se, se o corpo tiver carga com o mesmo sinal. Neste caso aumenta ainda mais a carga das folhas (Fig. 9 A);
- aproximar-se, se o corpo tiver carga de sinal oposto ao do electroscópio, pois as cargas negativas de um vão neutralizar as cargas positivas do outro (Fig. 9 B).

1.3. Condutores e isoladores

Como já foi dito, os corpos ficam electrizados devido ao transporte da carga eléctrica negativa efectuada pelos electrões em movimento. Mas nem todos os corpos podem ser electrizados com a mesma facilidade. Isto deve-se à sua estrutura atómica. Vejamos.

1.3.1. Condutores

Os átomos dos metais possuem poucos electrões de valência (localizados na última camada electrónica) e muitas orbitais de valência livres. Estes electrões possuem uma certa liberdade para se movimentar no interior do metal, por isso denominam-se **electrões livres**.

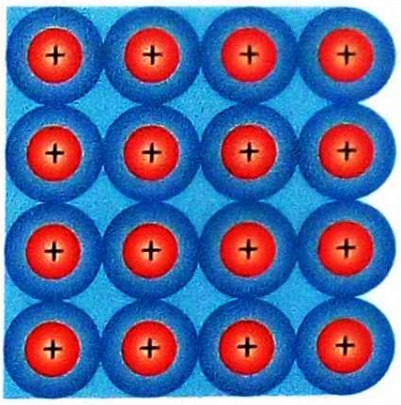


Fig. 10 – **Estrutura metálica**.
Os electrões livres "saltam" livremente de um átomo para outro átomo do metal devido à existência de orbitais de valência não preenchidas (círculos azuis).

Todos os materiais que como os metais possuem electrões livres, permitindo assim o deslocamento de carga eléctrica no seu interior, denominam-se condutores.

1.3.2. Isoladores

Mas existem alguns materiais cujos átomos têm electrões de valência fortemente ligados aos núcleos, ou seja, não possuem electrões livres. Por isso o transporte de carga eléctrica através deles não é possível.

Todos os materiais cujos átomos não possuem electrões com movimentos livres, não permitindo o transporte de carga eléctrica no seu interior, denominam-se isoladores.

Exemplos típicos de materiais isoladores são a madeira, a borracha, o vidro, a porcelana e o papel.

Para reparar avarias eléctricas em sítios onde o chão é húmido, os electricistas calçam botas de borracha.

Tanto os condutores como os isoladores têm grande importância no nosso dia-a-dia.

2. Noção de campo eléctrico

Já sabes que as cargas eléctricas interagem entre si, podendo atrair-se (quando tiverem cargas de sinais opostos) ou repelir-se (quando tiverem cargas com o mesmo sinal).

Para perceber melhor porque é que isso acontece, vamos considerar uma carga positiva Q fixa num determinado ponto do espaço, como mostra a figura 11. Se colocarmos uma outra carga q num ponto P_1, próximo da carga Q, aparecerá uma força de natureza eléctrica a actuar sobre q, atraindo-a ou repelindo-a.

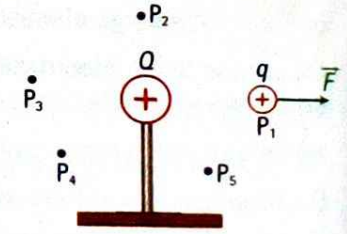


Fig. 11 – Campo eléctrico à volta de uma carga criadora Q.

Se a carga q fosse deslocada em torno de Q para outros pontos próximos desta, por exemplo, P_2, P_3, etc., em cada um deles também apareceria uma força eléctrica, actuando sobre q.

Todas essas forças surgem devido à presença da carga Q, isto é, a carga Q modifica as propriedades do espaço à sua volta, criando um campo eléctrico.

Por isso a carga Q denomina-se **carga criadora**, Q_c, enquanto à carga q dá-se o nome de **carga de prova**. Por convenção a carga de prova é sempre positiva.

Fora do campo, criado pela carga Q_c, não se sentem nenhuma forças eléctricas de interacção quando colocada uma carga de prova.

Campo eléctrico é a região do espaço à volta de uma carga criadora Q_c, onde actuam forças de atracção ou forças de repulsão sobre outras cargas de prova colocadas nesta região.

A carga criadora actua em todas as direcções e sentidos à sua volta, por isso o campo eléctrico criado por ela é um campo radial conforme mostra a figura 12.

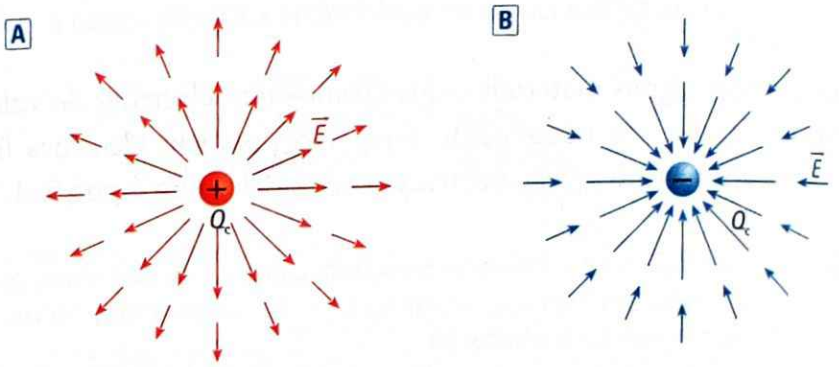


Fig. 12 – Campos eléctricos criados por uma carga positiva **(A)** e por uma carga negativa **(B)**.

Assim, a grandeza física **campo eléctrico** é uma **grandeza vectorial** representada em qualquer ponto do campo por um vector $\vec{E}$, dirigido para fora de Q_c (se $Q_c > 0$) ou dirigido para dentro de Q_c (se $Q_c < 0$).

O campo eléctrico $\vec{E}$ é uma grandeza caracterizada através da sua direcção, sentido, ponto de aplicação e intensidade ou módulo.

RESUMINDO...

A **matéria**, quando se encontra no seu estado natural, é **neutra**, pois possui o mesmo número de cargas eléctricas negativas (electrões) e positivas (protões).

A propriedade física da matéria, caracterizada pelas atracções e repulsões fortes entre os corpos electrizados, denomina-se **carga eléctrica**.

Os corpos ficam **electrizados** quando há transferência de electrões entre eles, ficando positivamente carregado o corpo que perde electrões e negativamente carregado o corpo que os ganha.

As cargas com o mesmo sinal **repelem-se**, enquanto as cargas de sinais opostos **atraem-se**.

Os corpos podem ser **electrizados** por fricção, por contacto ou por influência (indução).

A electrização por influência (indução) pode ser **temporária** ou **permanente**.

Para **detectar a electrização** dos corpos, usa-se o **electroscópio de folhas** ou o **pêndulo eléctrico**.

Nos **condutores** há deslocamento de carga eléctrica porque possuem electrões livres, o que não se verifica nos **isoladores**.

Uma carga eléctrica cria à sua volta um **campo eléctrico**, que actua sobre outras cargas através de forças eléctricas.

O **campo eléctrico** é uma grandeza vectorial representada pelo vector $\vec{E}$, que é dirigido para fora se $Q_c > 0$, ou é dirigido para dentro se $Q_c < 0$.

JÁ SEI...

Copia para o teu caderno e completa as frases com as seguintes palavras-chave:

friccionador **recebem** **repelem-se** **direcção** **electroscópio** **opostas** **intensidade** **livres** **condutores** **mesmo** **negativamente** **oposto** **corpo friccionado** **vectorial** **atraem-se**

- Os corpos que têm excesso de electrões são electrizados _____, porque _____ _____.
- Segundo as leis qualitativas, cargas com o mesmo sinal _____ e cargas de sinais opostos mas com cargas _____.
- Durante a electrização por fricção ficam electrizados tanto o _____ como o _____, _____.
- Na electrização por contacto os dois corpos ficam com carga do _____ sinal.
- Na electrização por indução permanente os dois corpos ficam com carga de sinal _____.
- O pêndulo eléctrico é o _____ mais simples.
- Os _____ permitem deslocamento de carga eléctrica no seu interior devido à presença de electrões _____.
- O campo eléctrico é uma grandeza _____ e, por isso, é caracterizado completamente pela sua _____, sentido, ponto de aplicação e _____.

EU DISCUTO...

ELECTRIZAÇÃO DOS CORPOS

Sensibilização ao tema:

Muitas ocorrências do nosso quotidiano estão relacionadas com o fenómeno da electrização. A sua análise ajuda-nos a compreender porque acontecem.

Um dos casos curiosos é o facto de o mesmo corpo poder ser electrizado com carga de sinal diferente. Como explicar isso?

A caixa ao lado contém alguns materiais, que por fricção com aqueles que os seguem, adquirem carga positiva, mas, quando friccionados com aqueles que os precedem, adquirem carga negativa.

Vidro
Marfim
Lã
Madeira
Papel
Seda
Borracha

Discussão:

Considera os seguintes pares de materiais, electrizados por fricção:

1. Vidro e lã
2. Borracha e lã
3. Marfim e seda
4. Seda e borracha

Depois de discutir com os teus colegas, responde às seguintes questões, referentes aos pares mencionados acima.

1. Que carga adquire cada um dos materiais dos pares 1 e 2?
2. Com que carga fica electrizado o pano de seda durante a fricção com um pedaço de marfim? E com um pedaço de borracha?
3. Existe algum material de entre os constantes na tabela que permita a electrização negativa do vidro?
4. Qual dos materiais do par 3 perde electrões? Porquê?

Sabias que...

- ... durante o processo de electrização o número total de electrões e de protões dos corpos em interacção não se altera na sua totalidade?
- ... estando os protões e os neutrões situados no núcleo do átomo, eles não se transferem, sendo apenas os electrões que são trocados entre os corpos?
- ... os átomos que exercem menor força sobre os seus electrões acabam por perdê-los?

ACTIVIDADE EXPERIMENTAL N.º 1 (TRABALHO EM GRUPO)

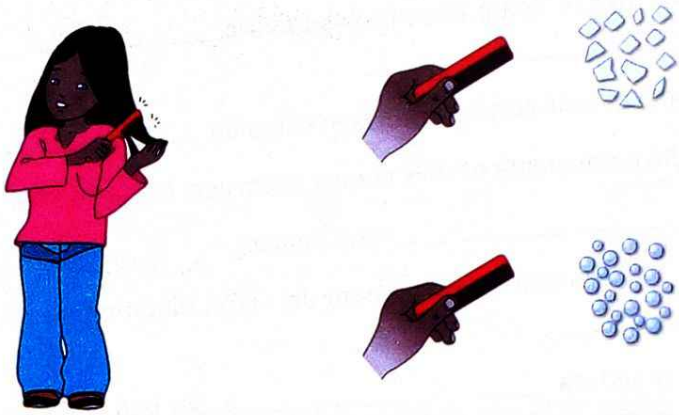
Verificação experimental da electrização por fricção

Material necessário: Pente de plástico, pedacinhos de folha de caderno, pedacinhos de esferovite, papel de alumínio, linha de costura, suporte de madeira, tira de plástico.

Observações:

Antes de iniciar qualquer experiência sobre electrização, deve certificar-se que todos os objectos a serem usados estão limpos e secos para poderem ser electrizados e conservarem a sua carga. Nos dias húmidos use uma fonte de aquecimento para os secar antes das experiências.

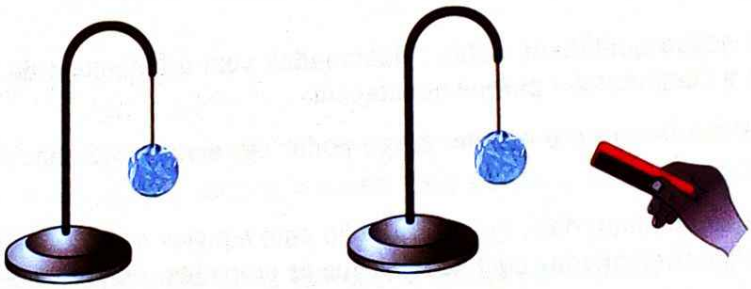
1.ª Experiência



Modo de proceder:

1. Electrizar o pente passando-o algumas vezes pelos cabelos, limpos e secos.
2. Aproximar o pente dos pedacinhos de folha e de esferovite.
3. Explicar o que acontece.

2.ª Experiência



Modo de proceder:

1. Fazer uma pequena esfera com a folha de alumínio.
2. Construir um pêndulo eléctrico, prendendo a esfera numa das extremidades do fio da linha de costura. Suspend a outra extremidade do fio no suporte.
3. Electrizando o pente como na 1.ª experiência, aproximá-lo da esfera.
4. Observar o que acontece antes e depois de tocar com o pente na esfera, explicando.

Responde às seguintes questões:

1. Os pedaços de papel, de esferovite e a esfera de alumínio estavam inicialmente electrizados? Então porque atraídos pelo pente?
2. Por que razão, após encostar no pente, a esfera de alumínio é repelida por ele?

Aplico

1. Observa a figura 3 da página 12 e responde às seguintes questões.

   1.1. O pedaço de lã ficou electrizado? Se sim, que tipo de carga adquiriu em cada caso?

   1.2. Qual dos dois corpos, a régua de plástico ou a barra de vidro, recebeu electrões?

   1.3. Em qual dos casos, **A** ou **B**, o pano de lã ficou com excesso de electrões?

2. Uma barra de vidro é friccionada com uma folha de papel. Consultando a tabela do "Eu discuto...", responde, explicando, se a barra de vidro vai atrair ou repelir:

   2.1. a folha de papel;

   2.2. um pedaço de seda.

3. Três esferas metálicas, A, B e C, encontram-se isoladas.

   Sabendo que:

   - A é electrizada positivamente;
   - B repele C;
   - C atrai A,

   determina o sinal da carga das esferas B e C. Justifica a tua resposta.

   Resolução:

   Sendo A atraída por C, então C está carregada com carga de sinal oposto ao de A, ou seja, C está carregada negativamente.

   Por outro lado, C e B repelem-se, logo, têm carga com o mesmo sinal, ou seja, B está carregada negativamente também.

4. Penteando-se, a Maria electrizou o pente com carga negativa de $3{,}2 \times 10^{-10}$ C.

   4.1. O número de protões que o pente possui antes de ser usado é inferior, superior ou igual ao número de electrões do mesmo?

   4.2. Calcula o número de electrões em excesso com que o pente ficou depois de electrizado.

   Resolução:

   4.1. É igual, pois o pente é neutro antes de ser friccionado.

   4.2. Sabendo que o valor da carga de um electrão é $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C e aplicando a regra de três simples, calculamos:

   $1{,}6 \times 10^{-19}$ ——— 1 e^-

   $3{,}2 \times 10^{-10}$ ——— x $\qquad x = \dfrac{3{,}2 \times 10^{-10}}{1{,}6 \times 10^{-19}} = 2{,}0 \times 10^{9}$ electrões

5. Considera dois corpos A e B, inicialmente neutros. Enquanto A possui 5×10^{32} protões, o número de electrões de B é 8×10^{25}. Depois de friccionados, A fica electrizado com uma carga de + 1,6 μC.

   5.1. Qual é o número de electrões de A antes da fricção?

   5.2. Durante a fricção, A ganha ou perde electrões? Quantos?

   5.3. Depois da fricção o corpo B também adquire carga eléctrica ou continua neutro? Se sim, diz qual é o seu sinal.

6. Um corpo, depois de electrizado, possui $5{,}0 \times 10^{14}$ protões em excesso.

   6.1. O corpo foi electrizado positivamente ou negativamente?

   6.2. Expressa este valor em μC.

7. Um electroscópio de folhas está electrizado negativamente.

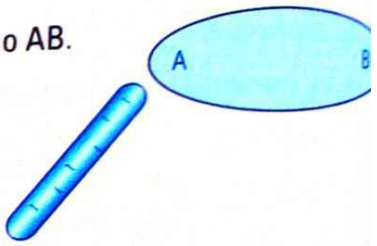
   7.1. Aproximando a esfera desse electroscópio a uma barra electrizada, qual seria o sinal da carga da barra, para as folhas do electroscópio se separassem?

   7.2. Se a barra fosse carregada positivamente, o que aconteceria com as folhas do electroscópio? Explica.

8. Nas indústrias de tecido e papel, esses materiais estão em constante atrito com as peças das máquinas. P evitar incêndios, o ar do meio ambiente é constantemente humedecido. Por que razão se adopta e procedimento?

9. Sabendo que o corpo humano é condutor de cargas eléctricas, explica por que razão uma pessoa não conse electrizar por fricção uma barra metálica segurando-a com as mãos.

10. Uma barra electrizada negativamente é colocada próxima de um corpo metálico AB.



   10.1. Para onde se deslocam os electrões livres do corpo metálico?

   10.2. Qual é o sinal da carga que aparece em A? E em B?

   10.3. Que nome tem a electrização do corpo obtida nessas condições?

11. Classifica as seguintes afirmações de verdadeiras ou falsas.

   (A) Um corpo electricamente neutro possui igual número de protões e electrões.

   (B) Um corpo electrizado negativamente tem deficiência de electrões.

   (C) Corpos com cargas eléctricas de sinais opostos atraem-se.

   (D) Um corpo pode ser electrizado por fricção, por contacto ou por indução.

   (E) Os aparelhos que detectam a electrização de um corpo denominam-se electímetros.

   (F) Um material isolador é aquele que possui electrões livres que permitem o deslocamento de carga eléctric no seu interior.

   (G) O campo eléctrico é a região do espaço à volta de uma carga criadora onde actuam forças de atracção repulsão sobre outras cargas de prova colocadas nesta região.

   (H) O campo eléctrico é uma grandeza escalar representada pelo vector $\vec{B}$.

   (I) O vector campo magnético é dirigido para fora da carga criadora se $Q > 0$ e é dirigido para dentro da carg criadora se $Q < 0$.

Resolução:

(A) Verdadeira.

(B) Falsa, tem excesso de electrões.

(C) Verdadeira.

(D) Verdadeira.

(E) Falsa, denominam-se electroscópios.

(F) Falsa, é um material condutor.

(G) Verdadeira.

(H) Falsa, é uma grandeza vectorial representada pelo vector $\vec{E}$.

(I) Verdadeira.

3. Corrente eléctrica

Vou aprender

- O que é uma corrente eléctrica
- Tipos de corrente eléctrica
- Intensidade e tensão da corrente eléctrica
- Noção de circuito de corrente eléctrica
- Resistência eléctrica – Lei de Ohm
- Associação de resistências eléctricas
- Potência eléctrica
- Lei de Joule
- Aparelhos de medição de corrente eléctrica

Ao longo do estudo desta unidade, tomámos conhecimento acerca das cargas eléctricas em repouso e do seu comportamento.

Em seguida, vamos analisar os fenómenos eléctricos relacionados com cargas em movimento, começando pelo estudo da corrente eléctrica e dos circuitos eléctricos.

3.1. O que é uma corrente eléctrica?

Como já vimos, nos condutores metálicos a carga eléctrica é transportada pelos electrões livres ou electrões de condução. Eles movem-se por todo o metal, "saltando" de átomo para átomo desordenadamente.

Se ligarmos as extremidades de um condutor aos pólos de um gerador, os electrões livres passam a ter movimento ordenado de um pólo para outro pólo do gerador.

O mesmo acontece com um corpo electrizado, por exemplo, um electroscópio, quando este é ligado à terra através de um fio condutor. Os electrões passam a ter um movimento ordenado para a terra ou para o electroscópio, dependendo da carga do indutor (Fig. 6).

Ao movimento ordenado de partículas com carga eléctrica denomina-se corrente eléctrica.

Quando o movimento ordenado das cargas eléctricas tem curta duração, como no caso do descarregamento de um electroscópio electrizado, a corrente eléctrica é **transitória**.

Mas no caso de um condutor metálico, ligado ao gerador, a corrente criada é de duração apreciável, sendo por isso denominada de corrente **permanente**.

A corrente eléctrica pode ser estabelecida também em condutores líquidos ou gasosos, onde existem iões positivos e negativos em movimento livre e/ou electrões livres (no caso dos gases). Nesses casos, os iões positivos deslocam-se para o pólo negativo, enquanto os iões negativos vão para o pólo positivo do gerador.

Mas o que é que obriga as cargas eléctricas a movimentarem-se ordenadamente?

Para perceber melhor tal fenómeno, vamos considerar um sistema de vasos comunicantes. Já aprendeste na 9.ª classe que a altura do líquido é a mesma em todas as partes do sistema (Fig. 13 a). Por isso, deslocando a mangueira para baixo e abrindo a torneira de comunicação, o líquido vai fluir do tubo para a mangueira, atingindo um nível igual ao do tubo (Fig. 13 b).

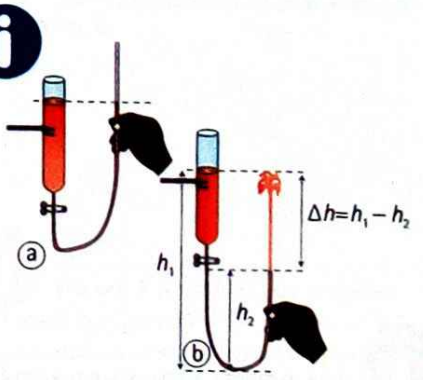


Fig. 13 – O tubo e a mangueira, que se comunicam através da torneira, são um sistema de vasos comunicantes.

Para que o fluxo de líquido entre os dois vasos do sistema pare é preciso manter constante o desnível, ou a diferença do ní Δh. Podemos conseguir isso usando uma bomba hidráulica, que el o líquido para o tubo sempre que estiver ligada.

Da mesma forma, se ligarmos as extremidades de um fio metál a um gerador, cujos pólos A e B têm potenciais diferentes ($\Delta V \neq$ os electrões livres existentes no fio metálico vão perder o seu mo mento caótico, fluindo de uma extremidade do fio para a outr criando-se uma corrente eléctrica.

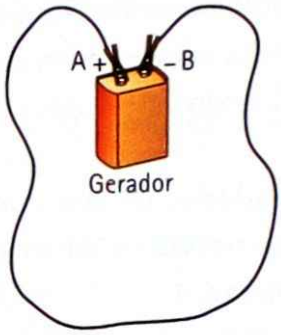


Fig. 14 – Devido à diferença de potencial do gerador surge corrente eléctrica no fio metálico.

3.2. Sentido da corrente eléctrica

O sentido em que os electrões livres se deslocam é denominad **sentido real da corrente**, sendo dirigido do pólo negativo (que tem excesso de electrões) para o pólo positivo (com deficiência de elec trões).

Antigamente, antes da descoberta do electrão, a corrente eléctrica explicava-se como um movimento de cargas eléctricas através de con dutores, do pólo positivo (de maior potencial) para o pólo negativo (de menor potencial). Este seria o movimento dos protões, se eles pudessem movimentar-se.

Assim, de acordo com este conceito e por convenção, é adoptado como sentido da corrente eléctrica o sentido oposto ao real, desig nado por **sentido convencional da corrente** (Fig. 15).

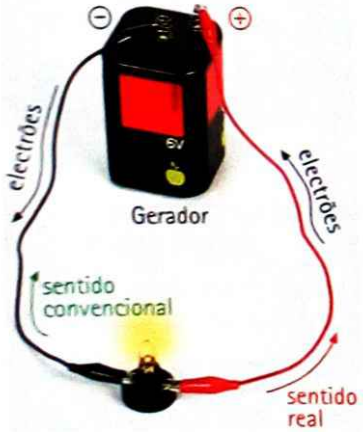


Fig. 15 – Os sentidos da corrente eléctrica.

Quando o sentido da corrente eléctrica é sempre o mesmo, a cor rente chama-se **corrente contínua, CC**. Esta é a corrente fornecida pelas pilhas, usadas em lanternas, rádios, etc., ou pelas baterias dos automóveis.

No entanto, a corrente eléctrica usada no nosso dia-a-dia não é uma corrente contínua. Tanto as indústrias como as residências são alimentadas por uma corrente variável.

Assim, ao ligarmos um electrodoméstico a uma tomada em casa, os electrões mudam de sentido, deslocando-se ora num sentido, ora no sentido contrário.

Esta corrente que muda periodicamente de sentido é denominada **corrente alternada, CA.**

Uma corrente alternada pode ser transformada em corrente contínua através de dispositivos especiais.

3.3. Intensidade da corrente eléctrica

Na figura 16 está representado um fio condutor percorrido por uma corrente eléctrica contínua. Em qualquer secção S desse condutor, no intervalo de tempo Δt, passa uma quantidade de carga eléctrica q.

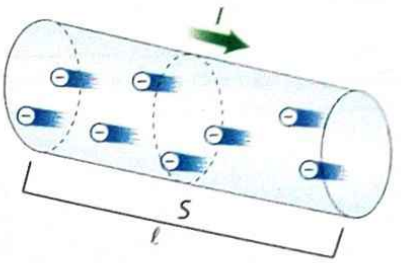


Fig. 16 – Corrente eléctrica de intensidade I num fio condutor.

O quociente entre a carga eléctrica q, que passa através de secção S de um condutor, e o respectivo intervalo de tempo, Δt, denomina-se intensidade da corrente eléctrica, I.

$$I = \frac{q}{\Delta t} \qquad (1.1)$$

A intensidade da corrente eléctrica mede-se, no SI, em **ampere** (**A**). Esta unidade é uma das sete unidades de base do Sistema Internacional.

Os aparelhos que medem a intensidade da corrente eléctrica denominam-se amperímetros.

A unidade de medida de carga eléctrica, o coulomb (C), é uma unidade derivada.

$$q = I\,\Delta t$$

Um coulomb é a carga eléctrica que passa, durante um segundo, numa secção transversal de um condutor percorrido por uma corrente eléctrica de intensidade um ampere.

3.4. Tensão (diferença de potencial) eléctrica

Já mencionámos que para um gerador (pilha, bateria, etc.) criar uma corrente eléctrica é preciso existir diferença de potencial (d.d.p.) entre os seus pólos. Mas de onde surge esta diferença de potencial?

3.4.1. O que é a tensão eléctrica ou a diferença de potencial?

Na realidade, o que acontece no gerador é uma conversão de energia. Por exemplo, uma pilha ou uma bateria converte energia química, armazenada nas substâncias químicas dentro dela, em energia eléctrica, criando-se pólos diferentes.

Se ligarmos um fio condutor aos pólos de uma pilha, a energia eléctrica obtida nele é transferida para as cargas eléctricas do condutor, estabelecendo uma diferença de potencial ou tensão eléctrica, U, entre os seus terminais.

A existência dessa tensão obriga as cargas eléctricas do condutor a movimentarem-se ordenadamente, criando-se, assim, uma corrente eléctrica fora do gerador.

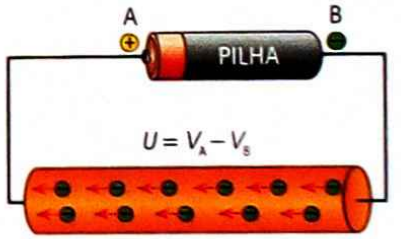


Fig. 17 – Corrente eléctrica criada no condutor pela diferença de potencial, U, do gerador.

V_A – potencial eléctrico do pólo positivo da pilha, A.

V_B – potencial eléctrico do pólo negativo da pilha, B.

A tensão eléctrica ou a diferença de potencial (d.d.p.) entre os terminais de um condutor, percorrido por uma corrente eléctrica, corresponde à energia eléctrica, E, transferida para o condutor por unidade de carga eléctrica, q, que o atravessa.

$$U = V_A - V_B = \frac{E}{q} \qquad (1.2)$$

A unidade SI de tensão eléctrica é o **volt** (**V**).

Um volt é a diferença de potencial entre dois pontos de um circuito, onde um joule de energia eléctrica é convertido em energia não eléctrica, quando a carga eléctrica de um coulomb passa de um ponto para outro.

O gerador não cria cargas eléctricas.

3.4.2. Fontes de tensão eléctrica

A energia eléctrica criada por um gerador pode ser resultado d transformação de várias formas de energia, como, por exemplo, ene gias mecânica, química, atómica, etc.

Qualquer aparelho que pode transformar energia não eléctri (química, mecânica, atómica, térmica, radiante, etc.) em energia elé trica, funciona como **gerador eléctrico**.

Conforme o tipo de corrente eléctrica que o gerador vai criar, di tinguem-se:

- **Geradores de corrente contínua** – originam corrente de intensi dade constante no decorrer do tempo. As pilhas ou as bateria são exemplos desse tipo de gerador.

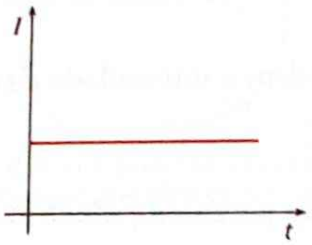


Fig. 18 – Variação da intensidade da corrente contínua com o tempo.

- **Geradores de corrente alternada** – originam corrente de intensi dade variável no decorrer do tempo. As centrais eléctricas (tér micas, hidráulicas, eólicas, etc.) produzem corrente alternada usada nas indústrias e nas nossas casas, ou seja, esta é a corrente mais usada no quotidiano.

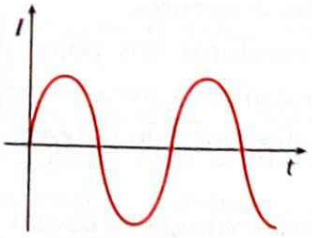


Fig. 19 – Variação da intensidade da corrente alternada com o tempo.

Este facto deve-se a **algumas vantagens** que a corrente alternada tem sobre a corrente contínua, tais como:

- o transporte da CA é mais barato a longas distâncias;
- a distribuição da CA para fábricas e residências é mais fácil e barata;
- usando transformadores, o aumento ou a diminuição da tensão da CA torna-se um processo muito simples.

3.5. Circuito eléctrico

Quando ligamos um fio condutor aos pólos de um gerador, criamos um circuito percorrido por corrente eléctrica. Mas neste circuito podem ser intercalados vários outros elementos, a maioria deles com a finalidade de transformar energia eléctrica em energia sonora, motora, luminosa, térmica, etc.

Um circuito eléctrico é o caminho que as cargas eléctricas percorrem durante o seu movimento ordenado.

Os principais elementos de um circuito eléctrico e os seus símbolos (que se representam através das figuras que os acompanham) são:

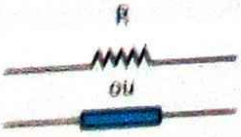
- **Gerador da corrente ou fonte de tensão**, G – mantém uma diferença de potencial nos extremos do circuito; o pólo positivo representa-se com um traço mais comprido e mais fino que o do pólo negativo.

- **Fios de ligação**, f – interligam os diferentes elementos do circuito, por isso são feitos de metais bons condutores (ex.: cobre).

- **Interruptor**, K – serve para ligar e desligar o circuito, ou seja, estabelecer ou interromper a corrente eléctrica que o percorre.

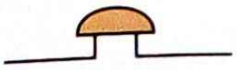
- **Receptores eléctricos** – transformam a energia eléctrica do circuito em energia não eléctrica. Podem ser:
  - ✓ **Lâmpadas**, L – transformam energia eléctrica prioritariamente em energia luminosa;

  - ✓ **Resistências**, R – transformam energia eléctrica em energia térmica;



✓ **Motores, M** – transformam energia eléctrica prioritariamente em energia cinética;

✓ **Campainhas** – transformam energia eléctrica prioritariamente em energia sonora.



• **Aparelhos de medição da corrente eléctrica** – servem para medir a intensidade da corrente eléctrica e a tensão eléctrica. Podem ser:

✓ **Amperímetros, A** – medem a intensidade da corrente eléctrica que percorre todo o circuito ou uma porção dele;

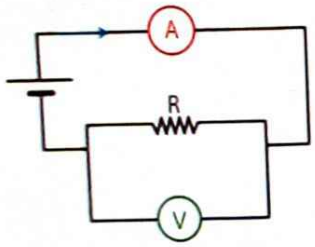
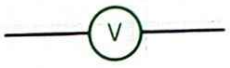


Fig. 20 – Circuito eléctrico simples; o voltímetro mede a tensão nos extremos da resistência.

✓ **Voltímetros, V** – medem a diferença de potencial ou tensão eléctrica nos extremos de um gerador ou de um receptor.



Ao lado está representado um circuito eléctrico constituído por um gerador, um receptor (resistência, R), dois aparelhos de medição da corrente (amperímetro, A, e voltímetro, V) e fios de ligação.

3.6. Resistência eléctrica

3.6.1. O que é a resistência eléctrica?

Quando aplicamos a mesma d.d.p. nos extremos de condutores diferentes, verifica-se que as intensidades das correntes eléctricas criadas são diferentes umas das outras. Isto significa que a resistência à passagem da corrente eléctrica que as partículas dos condutores oferecem não é igual. Esta oposição à passagem das cargas eléctricas nos condutores é conhecida como **resistência eléctrica**, R. O seu valor numérico calcula-se pelo quociente entre a tensão eléctrica, U, aplicada ao condutor e a intensidade da corrente eléctrica, I, que o percorre em cada instante:

$$R = \frac{U}{I} \qquad (1.3)$$

A unidade SI de resistência eléctrica é o **ohm** (Ω).

Um ohm é a resistência de um condutor percorrido por uma corrente eléctrica de intensidade um ampere quando, nos seus terminais, se aplica uma diferença de potencial de um volt.

3.6.2. Factores de que depende a resistência eléctrica

Efectuando várias experiências, foi comprovado que a resistência eléctrica de um condutor depende do seu comprimento, ℓ, da sua área de secção transversal, S, e do material de que é feito.

O valor de uma resistência mede-se directamente com aparelhos denominados ohmímetros.

- **Comprimento**, ℓ – consideremos dois condutores, A e B, feitos do mesmo material e com a mesma área de secção transversal. As experiências mostram que o condutor mais comprido tem maior resistência, ou seja, R e ℓ são **directamente proporcionais**.

$$R \propto \ell$$

- **Área de secção transversal**, S – se dois condutores, C e D, forem feitos do mesmo material e tiverem o mesmo comprimento, o condutor com secção transversal maior tem menor resistência, ou seja, R e S são **inversamente proporcionais**.

$$R \propto \frac{1}{S}$$

- **Material de fabrico** – quando dois condutores são feitos de materiais diferentes, apesar de terem o mesmo comprimento e área de secção transversal igual, têm resistências diferentes. A natureza do material de que um condutor é feito avalia-se pela grandeza **resistividade**, ρ.

$$R \propto \rho$$

A uma dada temperatura, a resistividade ou resistência específica de um material é uma constante física cujo valor se encontra tabelado.

No SI, a resistividade mede-se em **ohm metro (Ω m)**.

Estas conclusões, comprovadas experimentalmente, traduzem-se pela relação:

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \qquad (1.4)$$

Material	ρ a 20 °C
Metais	
Prata	$1{,}6 \times 10^{-8}$
Cobre	$1{,}7 \times 10^{-8}$
Níquel	$6{,}8 \times 10^{-8}$
Ferro	$1{,}0 \times 10^{-7}$
Semicondutores	
Germânio	$4{,}5 \times 10^{-1}$
Silício	$6{,}4 \times 10^{2}$
Maus condutores	
Borracha	10^{13}
Ebonite	$1{,}5 \times 10^{14}$
Enxofre	10^{15}

Comparando os valores da resistividade de vários materiais, podemos concluir sobre a sua capacidade condutora. Assim:

- os metais têm resistividades baixas, sendo a prata o melhor condutor;
- os maus condutores têm resistividades muito elevadas.

3.7. Lei de Ohm

Quando aplicamos, nas extremidades de um condutor, diferenças de potencial de valores diferentes, o condutor é percorrido por correntes eléctricas de intensidades diferentes. O físico alemão Georg Ohm, através da realização de várias experiências, chegou à conclusão que, para a maioria dos condutores, os quocientes U/I são iguais, ou seja, a resistência do condutor é constante.

Este resultado, conhecido como **Lei de Ohm**, tem o seguinte enunciado:

Para um condutor metálico, a uma dada temperatura, a resistência eléctrica é constante.

$$\frac{U}{I} = R = \text{const.}$$

Fig. 21 – Georg Simon Ohm (1787-1854), publicou na obra *Teoria Matemática do Circuito Eléctrico* os seus trabalhos sobre electricidade.

A maioria dos condutores obedece à Lei de Ohm, tal como o metais. Por isso são conhecidos como **condutores óhmicos**. Para el o gráfico intensidade da corrente eléctrica em função da tensão elé trica é uma recta com início na origem, ou seja, I é função linear de ((Fig. 22 A). Esta é a razão para que os condutores óhmicos sejam chamados de **condutores lineares**.

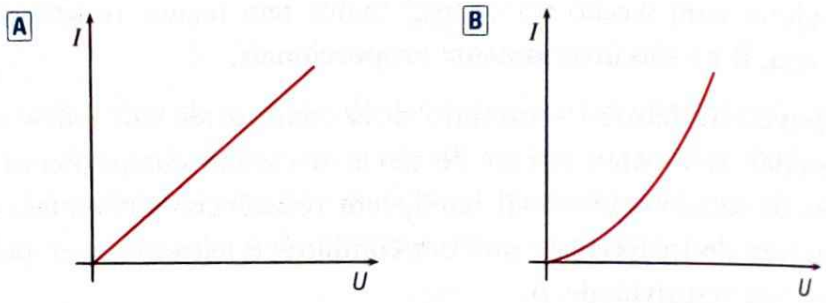


Fig. 22 – Gráficos intensidade de corrente eléctrica em função da tensão eléctrica: **(A)** condutor óhmico; **(B)** condutor não óhmico.

Os condutores que não obedecem à Lei de Ohm são conhecido como **condutores não óhmicos**. Fazem parte deles os díodos, os tríodo e os transístores, usados em circuitos electrónicos. A sua resistênci depende da tensão eléctrica, conforme mostra o gráfico da figura 22 B Como a relação entre I e U é característica do condutor, o respectiv gráfico é conhecido como **curva característica do condutor**.

3.8. Associação de resistências eléctricas

Geralmente, os receptores de corrente eléctrica, usados nos circui tos eléctricos, que, por razões de simplificação, designaremos po resistências, são ligados em série, em paralelo ou em associações mis tas. Isso depende da aplicação prática do respectivo circuito.

Um conjunto de resistências associadas pode ser substituído po uma única resistência, cujo valor é igual ao do conjunto. Esta resis tência única tem nome de **resistência equivalente**.

3.8.1. Associação de resistências eléctricas em série

Nesta associação as resistências estão ligadas umas às outras for mando uma única cadeia. Assim, a corrente eléctrica pode percorre um único caminho, isto é, a intensidade da corrente eléctrica é mesma em todas as resistências do circuito. Vamos considerar um associação de três resistências eléctricas, R_1, R_2 e R_3, percorridas po uma corrente eléctrica de intensidade I. Verifica-se, experimental mente, que a soma das diferenças de potencial nos extremos de cad uma das resistências é igual à diferença de potencial nos terminais d associação, U.

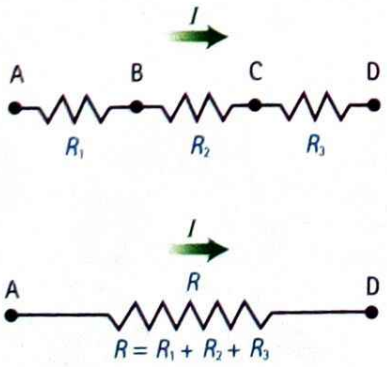


Fig. 23 – Associação de três resistências eléctricas em série e a sua resistência equivalente.

$$U_1 = V_A - V_B$$
$$U_2 = V_B - V_C$$
$$U_3 = V_C - V_D$$
$$U = V_A - V_D$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \qquad (1.5)$$

Assim, a resistência equivalente, R_{eq}, tem diferença de potencial U, quando percorrida por uma corrente eléctrica de intensidade igual à do ramo principal, I.

$$R_{eq} = \frac{U}{I} \qquad (1.6)$$

Mas como $R_1 = \frac{U_1}{I}$; $R_2 = \frac{U_2}{I}$; $R_3 = \frac{U_3}{I}$; $R_{eq} = \frac{U}{I}$, podemos escrever:

$$U_1 = R_1 \times I\,;\; U_2 = R_2 \times I\,;\; U_3 = R_3 \times I\,;\; U = R_{eq} \times I$$

Somando as primeiras três equações, e tendo em conta a equação 1.5, vem:

$$R_1 \times I + R_2 \times I + R_3 \times I = R_{eq} \times I$$

Finalmente, dividindo por I, tem-se:

$$R_1 + R_2 + R_3 = R_{eq} \qquad (1.7)$$

Assim, podemos resumir as **características de uma associação em série** da seguinte maneira:

1.º A intensidade da corrente que percorre qualquer uma das resistências é a mesma e igual à intensidade do circuito, I.

2.º A diferença de potencial nos terminais da associação, U, é igual à soma das diferenças de potencial de cada resistência eléctrica.

3.º A resistência total ou equivalente, R_{eq}, é igual à soma das resistências eléctricas ligadas em série.

Características de uma associação em série:

$I_1 = I_2 = I_3 = I$

$U_1 + U_2 + U_3 = U$

$R_1 + R_2 + R_3 = R_{eq}$

3.8.2. Associação de resistências eléctricas em paralelo

Nesta associação as resistências estão ligadas em forma de derivação, de modo que nos seus terminais está aplicada a mesma diferença de potencial (Fig. 24).

Quando a corrente eléctrica chega ao ponto de derivação, ela divide-se para poder percorrer todos os troços dela.

As experiências mostram que a intensidade da corrente eléctrica no ramo principal, I, é igual à soma das intensidades das correntes eléctricas que percorrem os circuitos derivados:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \qquad (1.8)$$

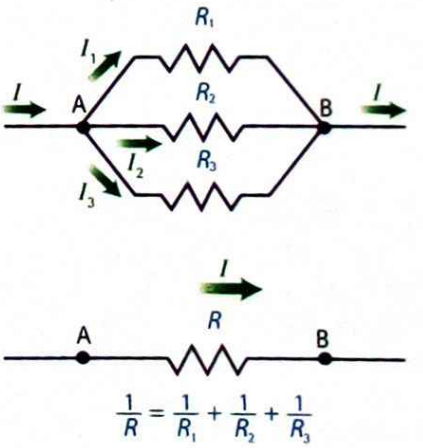


Fig. 24 – Associação de três resistências eléctricas em paralelo e a sua resistência equivalente.

$U_1 = U_2 = U_3 = U$

Segundo a definição de resistência eléctrica (ver equação 1.3) podemos expressar as intensidades como $I = \frac{U}{R}$. Assim, temos:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1};\ I_2 = \frac{U_2}{R_2};\ I_3 = \frac{U_3}{R_3};\ I = \frac{U}{R_{eq}}$$

Aplicando a equação 1.8, vem:

$$\frac{U}{R_{eq}} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} \text{ e como } U_1 = U_2 = U_3 = U,$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \qquad (1.9)$$

Características de uma associação em paralelo:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = I$$

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_{eq}}$$

Resumindo, as **características de uma associação em paralelo** são:

1.º A diferença de potencial nos terminais de cada uma das resistências em paralelo é igual à diferença de potencial nos terminais da associação, U.

2.º A intensidade da corrente eléctrica que percorre o circuito, I, é igual à soma das intensidades das correntes eléctricas que percorrem cada resistência eléctrica.

3.º O inverso da resistência total ou equivalente, R_{eq}, é igual à soma dos inversos de todas as resistências eléctricas ligadas em paralelo.

Conhecendo as características das associações, é fácil de estabelecer o modo como os aparelhos de medida da corrente eléctrica devem ligar-se num circuito eléctrico. Sabendo que o amperímetro mede a intensidade da corrente eléctrica, fica claro que este deve ser associado em série, para que toda a corrente eléctrica que pretendemos medir passe por ele. Por outro lado, o voltímetro deve ligar-se em paralelo ao elemento ou à parte do circuito cuja d.d.p. pretendemos medir (Fig. 25).

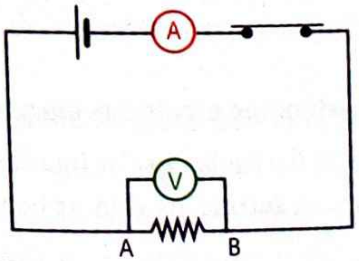


Fig. 25 – Circuito eléctrico com um amperímetro, uma resistência e um voltímetro.

3.8.3. Vantagens e desvantagens das associações

Para fazer uso correcto de um ou de outro tipo de associação de resistências, é preciso conhecer as suas vantagens e/ou desvantagens que se podem resumir da seguinte forma:

- Numa associação **em paralelo** cada um dos ramos funciona **independentemente** dos outros. Assim, se um dos ramos deixa

de funcionar, os outros continuam em pleno funcionamento. Tal não se verifica numa associação **em série**, onde uma interrupção do circuito em qualquer ponto faz com que **todo o circuito deixe de funcionar.**

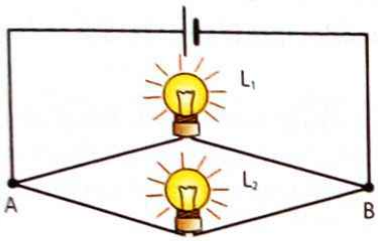


Fig. 26 – Num circuito em paralelo, se uma das lâmpadas fundir, a outra continua acesa, pois a corrente eléctrica passa por ela.

- Como uma associação **em série é mais barata**, uma vez que se gasta menos em fios eléctricos, ela é muito usada para produzir efeitos especiais, como, por exemplo, na iluminação das árvores de Natal e nos efeitos luminosos. Contudo, basta fundir uma das lâmpadas para que todas as lâmpadas se apaguem.

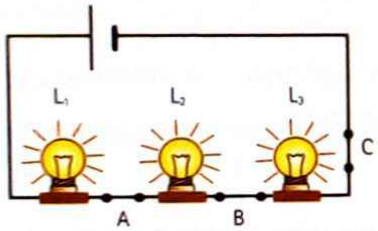


Fig. 27 – Num circuito em série, se fundir qualquer uma das lâmpadas, as outras também se apagam, pois a corrente eléctrica é interrompida.

Fig. 28 – A iluminação das árvores de Natal é, geralmente, uma associação em série.

- Quando acrescentamos uma resistência **em série**, a R_{eq} **aumenta**, o que faz **diminuir a intensidade da corrente eléctrica** que percorre o circuito. Mas, se acrescentarmos uma resistência **em paralelo** ao circuito, R_{eq} **vai diminuir**, enquanto a **intensidade total da corrente eléctrica vai aumentar.**

Existem também associações mistas, onde resistências associadas em série estão ligadas a outras associadas em paralelo.

3.9. Potência eléctrica

Já sabes da 8.ª classe que a potência, P, mede o trabalho realizado por unidade de tempo. Como os aparelhos eléctricos (receptores) transformam a energia eléctrica realizando trabalho, então, a potência eléctrica mede a rapidez com que se dá essa transformação.

Potência eléctrica é a quantidade de energia eléctrica convertida noutras formas de energia (mecânica, luminosa, térmica, etc.) através do trabalho efectuado por unidade de tempo.

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad \text{ou} \quad P = \frac{W}{\Delta t} \qquad (1.10)$$

A unidade SI de potência é o watt (W), derivada do joule (J) e do segundo (s).

Uma unidade muito usada para medir a energia eléctrica é o quilowatt-hora (kW h).

Um quilowatt-hora representa a energia eléctrica consumida por um aparelho de potência um quilowatt durante uma hora de funcionamento.

$1\ \text{kW h} = 3{,}6 \times 10^6\ \text{J}$

Mas, como já vimos, a tensão eléctrica entre dois pontos de um circuito é a energia transportada entre eles por unidade de carga eléctrica (equação 1.2):

$$U = V_A - V_B = \frac{E}{q}$$

Por outro lado, da definição de intensidade da corrente eléctrica (equação 1.1) deduz-se que:

$$q = I\,\Delta t$$

Substituindo na expressão anterior, vem:

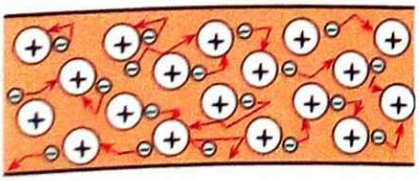
$$U = \frac{E}{q} = \frac{E}{I\,\Delta t} \Longrightarrow E = U\,I\,\Delta t \qquad (1.11)$$

Assim, para medir a potência eléctrica basta substituir esta expressão na equação 1.10, obtendo-se:

$$P = U\,I \qquad (1.12)$$

Quando a tensão eléctrica se mantém constante, a potência eléctrica é directamente proporcional à intensidade da corrente eléctrica.

3.10. Lei de Joule



⊖ electrão livre

⊕ ião positivo

Fig. 29 – Os electrões livres, ao deslocarem-se no interior do condutor, colidem com os iões positivos da rede metálica.

A nossa experiência do dia-a-dia mostra-nos que todos os condutores eléctricos aquecem quando ligados a um circuito. Isto deve-se às colisões dos electrões livres com outras partículas do condutor.

Durante essas colisões, a energia cinética dos electrões livres é transformada em energia de vibração dessas partículas. Em resultado, a energia interna do condutor aumenta, aumentando também a sua temperatura, o que gera calor, que é transferido para o exterior do condutor.

Este fenómeno é conhecido como efeito térmico da corrente eléctrica ou **efeito Joule**. A energia eléctrica transferida para o meio ambiente denomina-se energia dissipada por efeito Joule.

Para calcular a quantidade de energia dissipada, vamos considerar uma resistência, cujo valor é dado pela equação 1.3:

$$R = \frac{U}{I} \implies U = R\,I$$

Substituindo na equação 1.11, vem:

$$E = R\,I^2\,\Delta t \qquad (1.13)$$

Esta relação foi encontrada pela primeira vez pelo físico James Joule, sendo conhecida como **Lei de Joule**:

A energia eléctrica transferida como calor numa resistência é directamente proporcional ao valor da resistência, ao quadrado da intensidade da corrente eléctrica e ao intervalo de tempo durante o qual essa corrente eléctrica passa.

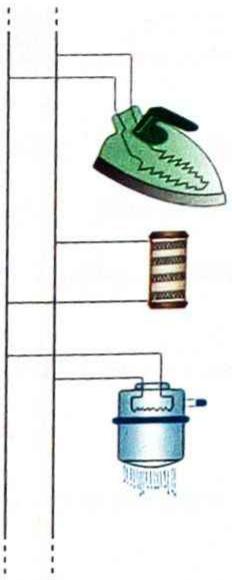


Fig. 30 – O funcionamento de todos os electrodomésticos usados para aquecimento baseia-se no efeito Joule.

A Lei de Joule também é conhecida por Lei de Joule-Lenz, uma vez que o físico russo Heinrich Lenz descobriu mais tarde de forma independente a mesma lei que o físico inglês James Joule.

3.11. Aparelhos de medição da corrente eléctrica

O trabalho com circuitos eléctricos envolve a medição de grandezas eléctricas, usando-se para tal aparelhos apropriados. Qualquer aparelho que indique a presença de corrente eléctrica num circuito tem o nome de **galvanómetro**. Conforme a grandeza que vai medir, o galvanómetro pode ser designado por:

- **Amperímetro** – mede a **intensidade da corrente eléctrica**. Os amperímetros que medem intensidades de valores elevados são graduados em amperes, A, enquanto aqueles que medem intensidades baixas podem ser graduados em miliamperes, mA, ou microamperes, μA. Num circuito, os amperímetros devem ligar-se em série, de modo que a corrente eléctrica que passa por eles seja a mesma que passa pelo circuito ou pela porção do circuito em estudo.
- **Voltímetro** – mede a **tensão eléctrica** (diferença de potencial) entre dois pontos do circuito. Para efectuar a medição respectiva, o voltímetro deve ligar-se em paralelo ao elemento receptor ou à porção do circuito em estudo.
- **Ohmímetro** – mede a **resistência eléctrica** de um elemento. Os ohmímetros são parte integrante de aparelhos de medição de corrente com múltiplas funções, denominados, por isso, de multímetros.

Um **multímetro** funciona como amperímetro, voltímetro ou ohmímetro. Para medir a resistência de um elemento receptor, basta ligá-lo aos terminais do aparelho (Fig. 31 B) e fazer a leitura directa na escala.

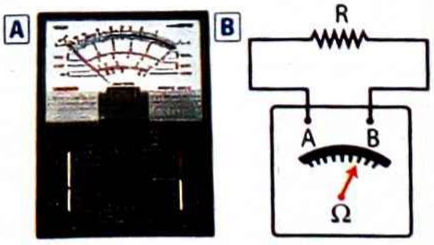


Fig. 31 – Em **(A)** um multímetro analógico; em **(B)** um multímetro usado como ohmímetro.

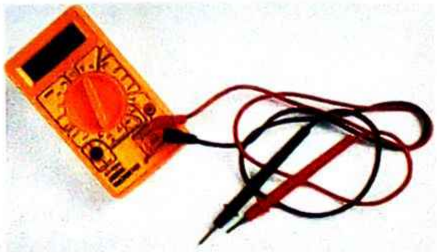


Fig. 32 – Multímetro digital.

RESUMINDO...

A **corrente eléctrica** é o movimento ordenado das cargas eléctricas através de um condutor, quando nele existe uma diferença de potencial.

O **sentido real** da corrente eléctrica corresponde ao movimento dos electrões livres, do pólo negativo para o pólo positivo.

O sentido mais usado da corrente eléctrica é o **sentido convencional**, que corresponde ao movimento de cargas positivas, caso elas pudessem movimentar-se, ou seja, do pólo positivo para o pólo negativo.

A corrente que não muda de sentido denomina-se **corrente contínua** (CC).

A **corrente alternada** (CA) é a corrente cujo sentido muda periodicamente.

A **intensidade da corrente eléctrica**, I, define-se como a razão entre a carga eléctrica que atravessa uma secção recta de um condutor e o respectivo intervalo do tempo.

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

A unidade no SI de intensidade da corrente eléctrica é o **ampere**, **A**.

A **diferença de potencial**, U, ou **tensão eléctrica** é a energia eléctrica transferida para o condutor por unidade de carga eléctrica.

$$U = \frac{E}{q}$$

A unidade no SI de tensão eléctrica é o **volt**, **V**.

A oposição que as partículas dos condutores oferecem à passagem das cargas eléctricas denomina-se **resistência eléctrica**, R.

A unidade no SI de resistência eléctrica é o **ohm**, **Ω**.

A resistência eléctrica depende do **comprimento do condutor**, ℓ, da **área de secção transversal do condutor**, S, e do **material de que é feito o condutor** avaliado pela grandeza **resistividade**, ρ.

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

Segundo a **Lei de Ohm**, para um condutor eléctrico a uma dada temperatura a resistência eléctrica é constante.

$$\frac{U}{I} = R = \text{const.}$$

O **gerador** é um dispositivo que mantém a diferença de potencial nos extremos de um circuito eléctrico.

Os **receptores eléctricos** são os elementos de um circuito eléctrico que transformam a energia eléctrica em outras formas de energia.

As **resistências** presentes num circuito eléctrico podem ser **associadas em série**, **em paralelo** ou **em associações mistas**.

A **potência eléctrica** mede a rapidez com que se dá a transformação de energia eléctrica em energia não eléctrica (sonora, luminosa, térmica, etc.).

A unidade no SI de potência eléctrica é o **watt**, **W**.

Segundo a **Lei de Joule**, a energia eléctrica transferida como calor numa resistência é directamente proporcional ao valor da resistência eléctrica, ao quadrado da intensidade da corrente eléctrica e ao intervalo de tempo durante o qual essa corrente eléctrica passa.

As grandezas eléctricas medem-se através de **galvanómetros**, que podem ser **amperímetros** (medem a intensidade da corrente eléctrica), **voltímetros** (medem a tensão eléctrica), **ohmímetros** (medem a resistência eléctrica) ou **multímetros** (têm múltiplas funções).s

JÁ SEI...

Copia para o teu caderno e completa as frases com as seguintes palavras-chave:

série **paralelo** **ohmímetro** **electrões livres** **directamente** **diferença de potencial** **série** **fácil** **energia térmica** **igual** **circuito eléctrico** **igual** **diferença de potencial** **elemento** **quilowatt-hora** **inversos** **barata** **resistência equivalente** **amperímetro** **alternada** **paralelo** **líquidos** **contínua**

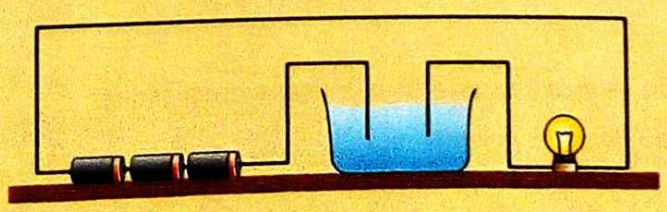
- Nos condutores sólidos a corrente eléctrica deve-se ao movimento ordenado dos _____, enquanto nos condutores _____ as partículas em movimento ordenado são os iões positivos e os iões negativos.
- A causa da corrente eléctrica é a _____ existente num circuito eléctrico.
- A corrente eléctrica usada nas nossas casas é corrente _____ porque a sua distribuição é mais _____ e mais _____ em relação à corrente _____.
- O caminho que as cargas eléctricas percorrem durante o seu movimento ordenado denomina-se _____.
- Numa associação em série a intensidade da corrente eléctrica é _____ em qualquer ponto do circuito, enquanto numa associação em _____ ela é igual à soma das intensidades da corrente eléctrica que percorrem as derivações.
- A _____ nos terminais de uma associação em _____ é igual à soma das diferenças de potencial nos terminais de cada resistência associada, enquanto numa associação em paralelo ela é igual à diferença de potencial nos terminais de cada _____ associado.
- A _____ é a resistência única que pode substituir uma associação de resistências porque o seu valor é _____ ao valor da resistência do conjunto.
- Numa associação em _____ a resistência equivalente é igual à soma das resistências ligadas na associação, enquanto numa associação em _____ o inverso do seu valor é igual à soma dos _____ de todas as resistências.
- Sempre que a diferença de potencial se mantém constante, a potência eléctrica é _____ proporcional à intensidade da corrente.
- Um _____ representa a energia eléctrica consumida por um aparelho de potência um quilowatt durante uma hora de funcionamento.
- O fenómeno em que a energia eléctrica é transformada em _____ é conhecido como efeito térmico ou efeito Joule.
- Um multímetro tem múltiplas funções, porque funciona como _____, voltímetro ou _____, dependendo da grandeza eléctrica que está a medir.

ACTIVIDADE EXPERIMENTAL N.º 2 (TRABALHO EM GRUPO)

Verificação da passagem de corrente eléctrica, num circuito eléctrico simples, através de diferentes meios condutores

Material necessário: Três pilhas secas comuns, lâmpada de 3 V (de lanterna), um recipiente com água da torneira, fios de ligação (condutor), açúcar, sal de cozinha, barra de grafite de um lápis.

Montagem: Fazer a montagem conforme mostra a figura a seguir. Das extremidades dos fios, mergulhados na água, deve retirar-se a camada isoladora.



Modo de proceder:

1. Fechar o circuito, encostando uma na outra as extremidades dos fios mergulhadas na água. Registar o que se observa.
2. Dissolver uma colher de açúcar na água. Encostar novamente as extremidades dos fios e registar o que se observa.
3. Remover a água com o açúcar do recipiente e voltar a enchê-lo com água.
4. Adicionar uma colher de sal de cozinha. Encostar novamente as extremidades dos fios e registar o que se observa.
5. Retirar as extremidades dos fios da água e encostá-los às extremidades da barra de grafite. Registar o que se observa.

Observações e conclusões:

Preencher o seguinte quadro:

EXPERIÊNCIA	OBSERVAÇÃO	CONCLUSÃO
Água		
Solução açucarada		
Solução salina		
Grafite		

- registando as tuas observações quanto ao estado da lâmpada (se acende ou não);
- tirando as tuas conclusões, referindo se o meio de propagação da corrente eléctrica é condutor ou isolador.

COMO FAZER...

PILHA DE LIMÃO

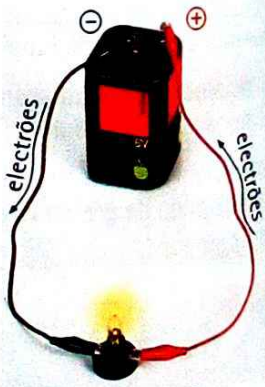
Como já sabes, as pilhas ou as baterias são fontes de energia eléctrica. Nelas ocorrem transformações químicas, geralmente em solução. Assim, quando ligamos uma pilha num circuito eléctrico, a energia química da pilha vai transformar-se em energia eléctrica. Por isso, as pilhas são chamadas **geradores electroquímicos**.

Um gerador electroquímico transforma energia química em energia eléctrica.

Para **construir um gerador electroquímico**, precisamos de uma solução condutora de corrente eléctrica (electrólito) e de duas placas condutoras de metais diferentes (eléctrodos).

Devido às reacções químicas que ocorrem na solução, um dos eléctrodos fica com excesso de electrões, constituindo o pólo negativo da pilha e o outro eléctrodo fica com deficiência de electrões, constituindo o pólo positivo da pilha.

A diferença de cargas eléctricas entre os dois eléctrodos da pilha cria a diferença de potencial que torna possível o movimento ordenado de electrões no circuito eléctrico, ligado à pilha, ou seja, gera-se corrente eléctrica.

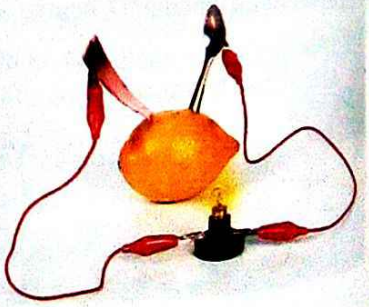


Na prática, muitas vezes usamos o termo "pilha" para designar apenas um **elemento de pilha**, que é constituído por um par de eléctrodos diferentes, mergulhados numa solução condutora. Geralmente, um elemento de pilha tem d.d.p. de 1,5 V.

Os elementos de pilha podem ser associados em série, designando-se essa associação por **pilha** ou **bateria**.

Quanto maior for a d.d.p. entre os pólos de uma pilha, maior será a energia transferida para os electrões livres do condutor.

A pilha mais fácil de fazer é a **pilha de limão**. Basta espetar num limão uma placa de cobre e outra de zinco e ligá-las a um circuito eléctrico simples através de fios de ligação e pinças crocodilo. A lâmpada, intercalada no circuito, acende imediatamente.



Material:

- Lâmpada
- Limão
- Placa de cobre
- Dois fios de ligação com crocodilos nas extremidades
- Placa de zinco (ou colher)

ACTIVIDADE EXPERIMENTAL N.º 3 (TRABALHO EM GRUPO)

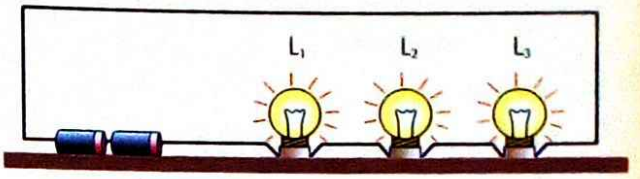
Intensidade da corrente em circuitos com lâmpadas associadas em série e em paralelo

Material necessário: Duas pilhas secas comuns, três lâmpadas de 3 V (de lanterna), fios de ligação, um miliamperímetro, três interruptores.

1.ª Experiência – Lâmpadas associadas em série

Modo de proceder:

1. Fazer a montagem do circuito, intercalando apenas uma das lâmpadas e observar o seu brilho.
2. Abrir o circuito e introduzir mais uma lâmpada. Em seguida, fechar o circuito e observar o brilho das lâmpadas.



3. Introduzir agora a terceira lâmpada, como mostra a figura, observando novamente o brilho das lâmpadas.
4. Desligar uma das lâmpadas (à tua escolha) e observar o que acontece com as outras duas.

Observações e conclusões:

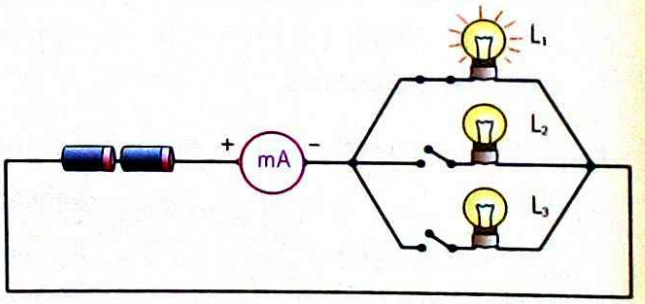
Com base nas tuas observações, responde às seguintes questões.

1. A intensidade da corrente eléctrica (o brilho das lâmpadas) aumenta, diminui ou não se altera com a introdução de mais lâmpadas? Porquê?
2. O que aconteceu quando se desligou uma das lâmpadas? Explica.

2.ª Experiência – Lâmpadas associadas em paralelo

Modo de proceder:

1. Fazer a montagem do circuito, inicialmente com as lâmpadas L_2 e L_3 desligadas através dos interruptores respectivos. Observar o brilho da lâmpada e anotar o valor registado pelo miliamperímetro.
2. Ligar a lâmpada L_2. Observar o brilho das lâmpadas. Anotar a nova leitura do miliamperímetro.



3. Ligar a lâmpada L_3, observando o brilho das três lâmpadas. Anotar a leitura do aparelho.
4. Desligar, através do interruptor, uma das lâmpadas (à tua escolha). Observar o que acontece com as outras duas lâmpadas.

Observações e conclusões:

Com base nas tuas observações, responde às seguintes questões.

1. A intensidade da corrente eléctrica, medida pelo aparelho, é alterada pela introdução de mais lâmpadas?
2. A intensidade da corrente eléctrica que passa por cada uma das lâmpadas (o brilho das lâmpadas) aumenta, diminui ou não se altera com a introdução de mais lâmpadas? Porquê?
3. A resistência eléctrica do circuito aumenta, diminui ou não se altera com a introdução de mais lâmpadas em paralelo?
4. O que aconteceu quando se desligou uma das lâmpadas? Explica.

Conclusões finais:

Explica agora, à luz das associações em série e em paralelo, os seguintes factos:

1. Quando desligamos a lâmpada da cozinha, as restantes lâmpadas da casa continuam acesas.
2. Quando funde uma das lâmpadas da iluminação de uma árvore de Natal, todas as outras lâmpadas apagam.

Aplico

1. Selecciona a opção correcta.

   I. A **corrente eléctrica** é o movimento ordenado de...

   (A) ... átomos.

   (B) ... cargas eléctricas.

   (C) ... moléculas.

   II. As **pilhas** são...

   (A) ... receptores eléctricos.

   (B) ... geradores electromagnéticos.

   (C) ... geradores electroquímicos.

   III. Num **circuito em série** a intensidade da corrente eléctrica é...

   (A) ... maior junto ao pólo (+) da pilha.

   (B) ... diminui do pólo (+) para o pólo (–).

   (C) ... igual em qualquer ponto do circuito.

   IV. O **voltímetro** liga-se a um circuito eléctrico em...

   (A) ... série.

   (B) ... paralelo.

   (C) ... aleatoriamente.

2. Faz a correspondência entre os elementos de um circuito eléctrico da **coluna I** e as afirmações da **coluna II**.

Coluna I	**Coluna II**
1. Fios de ligação	**(A)** Transforma energia química em energia eléctrica.
2. Pilha seca	**(B)** Transforma energia eléctrica em energias radiante e térmica.
3. Interruptor	**(C)** Transforma energia eléctrica em energia química.
4. Lâmpada	**(D)** Abre e fecha o circuito eléctrico.
	(E) Liga os elementos de um circuito eléctrico entre si.

3. Considera um condutor metálico, percorrido por uma corrente eléctrica. Durante 10 segundos uma secção transversal desse condutor é atravessada por $2{,}0 \times 10^{20}$ electrões. Considerando a carga eléctrica elementar $e = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C, determina:

   3.1. a quantidade de carga eléctrica, em coulomb, que corresponde a esse número de electrões;

   3.2. a intensidade da corrente eléctrica, em ampere, que passa pela secção do condutor.

Resolução:

3.1. $Q = n \times e$, onde: n – número de partículas portadoras de carga eléctrica;
e – carga eléctrica elementar ($e = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C).

Assim, $Q = 2{,}0 \times 10^{20} \times 1{,}602 \times 10^{-19} = 32{,}04$ C

3.2. $I = \dfrac{q}{\Delta t} = \dfrac{32{,}04}{10} = 3{,}2$ A

4. Um condutor óhmico é percorrido por uma corrente eléctrica de intensidade 2,0 mA durante 5,0 min. Calcula:

   4.1. a carga eléctrica que passou por cada secção do condutor;

   4.2. o número de electrões que transportaram a carga eléctrica ($e = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C).

5. Quando se estabelece uma diferença de potencial nos terminais de um condutor óhmico de 6 V, ele é atravessado, a cada minuto, por uma carga de 15 C. Calcula, para este condutor:

   5.1. a intensidade da corrente eléctrica que o percorre;

   5.2. a sua resistência eléctrica;

   5.3. a energia eléctrica transferida por unidade de carga.

6. Uma carga de 5,0 C desloca-se entre dois pontos, A e B, de um circuito eléctrico onde há uma d.d.p. de 120 V. Que energia eléctrica é convertida noutras formas de energia nessa porção do circuito?

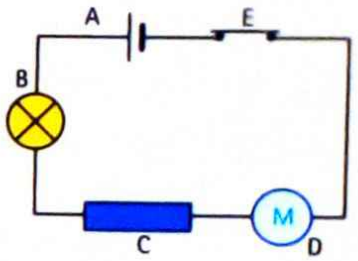
7. Considera o esquema ao lado.

   7.1. Identifica, através das letras, a fonte e os receptores de energia.

   7.2. Quais são os nomes dos elementos intercalados nesse circuito (de A a E)?

   7.3. Representa o pólo positivo e o pólo negativo do gerador.

   7.4. Marca, no esquema, o sentido real e o sentido convencional da corrente eléctrica que o percorre.



8. Durante uma experiência laboratorial foram medidos os valores da d.d.p. aplicada nos extremos de um condutor e a intensidade da corrente eléctrica que o percorria, conforme a tabela a seguir.

U(V)	0	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0
I(A)	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0

   8.1. Desenha um circuito eléctrico simples que permita efectuar a experiência mencionada.

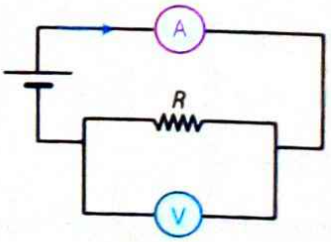
   8.2. Representa graficamente os dados da tabela. Trata-se de um condutor óhmico? Justifica a tua resposta.

   8.3. Calcula a resistência do condutor.

Resolução:

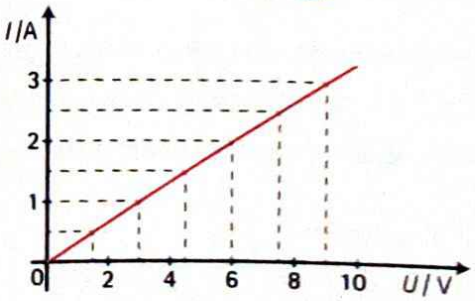
8.1. Além da pilha, da resistência (R), de um interruptor e de fios de ligação, no circuito deve intercalar-se um voltímetro (V), ligado em paralelo à resistência (para medir os valores da d.d.p. nos seus terminais), e um amperímetro (A), ligado em série à resistência (para medir os valores da intensidade da corrente eléctrica que o percorre).

Assim, o circuito mais simples pode ser o esquematizado na figura ao lado.



8.2. Usando os valores da tabela, construímos o gráfico $I = I(U)$, obtendo-se uma linha recta ($R = \frac{U}{I} = \text{const.}$).

Logo, o condutor é óhmico.



8.3. $R = \frac{U}{I} = \frac{1{,}5}{0{,}5} = \frac{3{,}0}{1{,}0} = \frac{4{,}5}{1{,}5} = \frac{6{,}0}{2{,}0} = \frac{7{,}5}{2{,}5} = \frac{9{,}0}{3{,}0} = 3{,}0\ \Omega$

9. Um motor eléctrico está ligado a uma bateria de 12 V, sendo percorrido por uma corrente eléctrica de intensidade 0,5 A. Qual é a quantidade de energia fornecida ao motor durante uma hora de funcionamento?

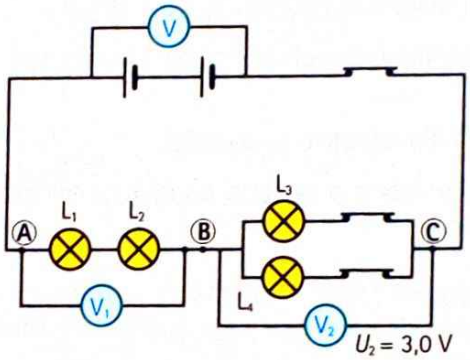
10. Um aparelho de raios X transforma $5{,}4 \times 10^3$ J de energia em 3,0 segundos. Sabendo que a intensidade da corrente eléctrica que o atravessa é 1,8 mA, a que diferença de potencial o aparelho deve operar?

Resolução:

$U = \frac{E}{q}$ e, como $I = \frac{q}{\Delta t} \Longrightarrow q = I\Delta t$, vem: $U = \frac{E}{I\Delta t} = \frac{5{,}4 \times 10^3}{1{,}8 \times 10^{-3} \times 3{,}0} = 1{,}0 \times 10^6$ V

11. Um fio de cobre tem 1,0 mm de diâmetro e 1,0 m de comprimento. Sabendo que a resistividade do cobre, a 20 °C, é $1{,}7 \times 10^{-8}\ \Omega$ m, calcula o valor da resistência do fio a essa temperatura.

12. Um circuito eléctrico é constituído por duas pilhas de 4,5 V cada, quatro lâmpadas iguais, três interruptores, três voltímetros e fios de ligação, como mostra a figura.



12.1. Qual é o valor da d.d.p. nos terminais da associação de pilhas?

12.2. Qual é o valor da d.d.p. nos terminais da lâmpada L_3? E da lâmpada L_4? Justifica.

12.3. Qual é o valor da d.d.p. lido no voltímetro V_1?

12.4. Qual é o valor da d.d.p. nos terminais da lâmpada L_1? E da lâmpada L_2? Justifica.

13. A potência eléctrica de um aparelho, a intensidade da corrente eléctrica que o percorre e a d.d.p. nos seus terminais relacionam-se pela expressão...

(A) ... $U = P \times I$.

(B) ... $P = R \times I$.

(C) ... $I = \frac{U}{P}$.

(D) ... $I = \frac{P}{U}$.

Selecciona a opção correcta.

14. Um aparelho de ar condicionado, de potência 1200 W, esteve ligado durante 5 horas.

14.1. Que quantidade de energia o aparelho consumiu?

14.2. Qual é o custo da energia eléctrica consumida, sabendo que o custo médio de 1 kW h é de 2,89 meticais?

Resolução:

14.1. $P = \frac{W}{\Delta t} \Longrightarrow W = P \times \Delta t = 1200 \times 5 = 6000$ W h $= 6{,}0$ kW h

14.2. O custo da energia consumida durante as cinco horas é: $2{,}89 \times 6{,}0 = 17{,}34$ MT

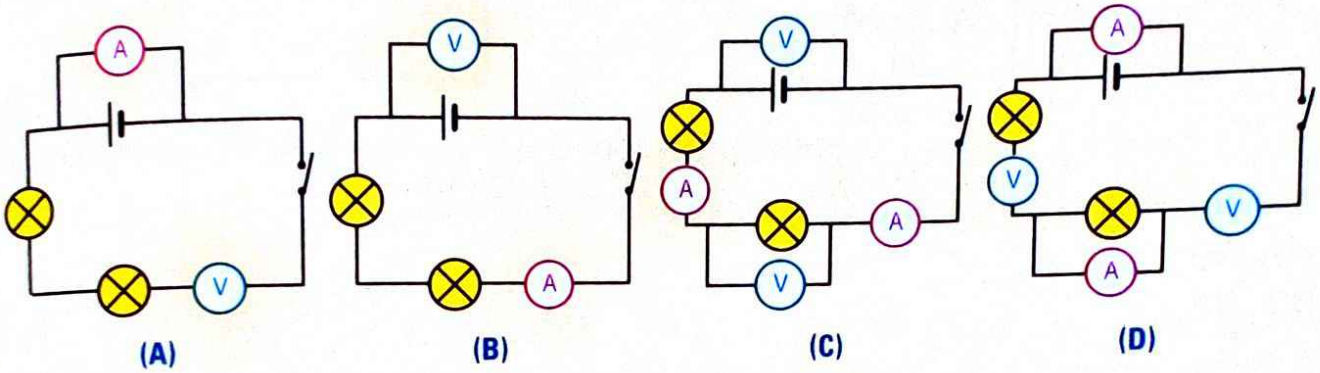
15. Quais das seguintes expressões exprimem a Lei de Ohm?

(A) $U = R\,I$ (B) $R = U\,I$ (C) $I = \frac{U}{R}$

(D) $R = \frac{I}{U}$ (E) $R = \frac{U}{I}$ (F) $U = \frac{R}{I}$

Selecciona as opções correctas.

16. Observa os circuitos esquematizados em A, B, C e D. Quais deles são correctos? Porquê?



17. Num circuito eléctrico, além da pilha e do interruptor, encontram-se os seguintes elementos:

(A) uma resistência;

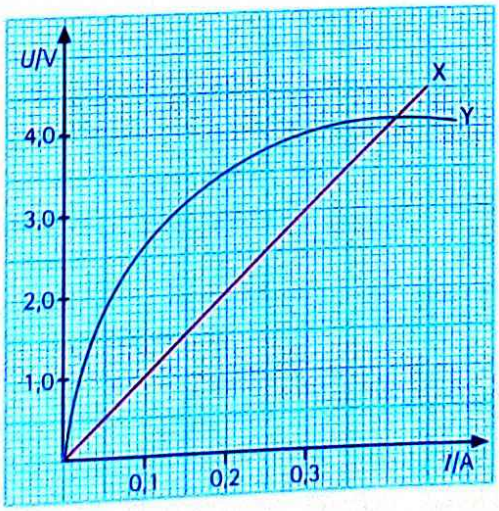
(B) uma lâmpada incandescente;

(C) uma campainha.

17.1. Que efeitos produz a corrente eléctrica quando percorre cada um dos elementos do circuito?

17.2. Quais são as transformações da energia eléctrica em cada elemento?

18. O gráfico a seguir representa a variação da d.d.p. nos extremos de dois condutores, X e Y, em função da intensidade da corrente eléctrica.



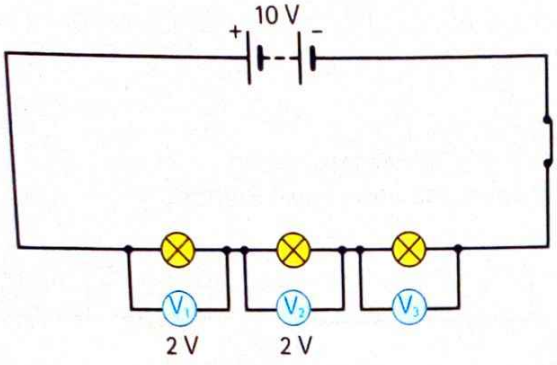
18.1. Qual dos condutores é óhmico ou linear? Justifica.

18.2. Sabendo que é aplicada uma d.d.p. de 3,0 V nos extremos de cada condutor, calcula:

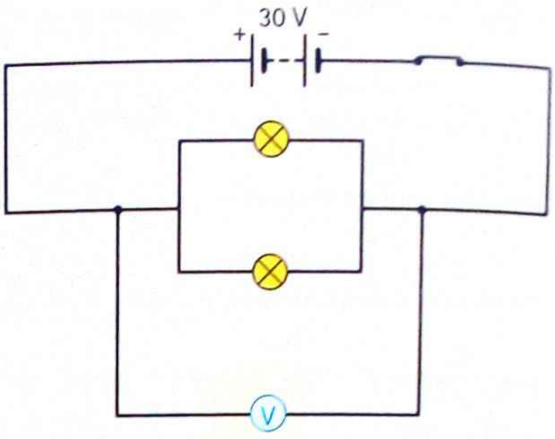
18.2.1. os valores da resistência do condutor X, para $I = 0{,}1$ A, $I = 0{,}2$ A e $I = 0{,}3$ A;

18.2.2. os valores da resistência do condutor Y, para $I = 0{,}1$ A, $I = 0{,}2$ A e $I = 0{,}3$ A.

19. Considera os circuitos esquematizados em A e B.



(A)



(B)

Quais são os valores das d.d.p. lidos nos voltímetros:

19.1. V_3?

19.2. V?

Resolução:

19.1. O voltímetro V_3 indica o valor da d.d.p. da terceira lâmpada, ligada em série.

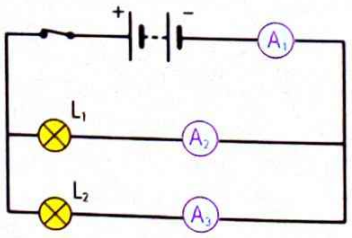
Para esta associação, $U = U_1 + U_2 + U_3 = 10$ V (d.d.p. fornecida pelo gerador).

Assim, $U_3 = 10 - (2 + 2) = 6$ V

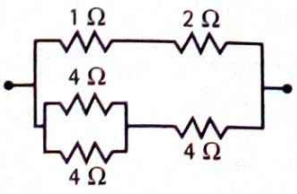
19.2. O voltímetro V indica o valor da d.d.p. nos extremos da associação das duas lâmpadas em paralelo. Por sua vez, esta associação está associada ao gerador em paralelo também, ou seja:

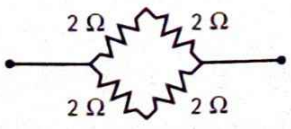
$U = U_1 = U_2 = 30$ V. O voltímetro V indica o valor de 30 V.

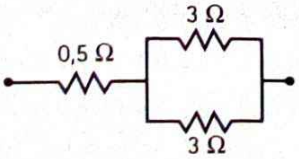
20. No circuito eléctrico esquematizado abaixo, as lâmpadas L_1 e L_2 são iguais. Sabendo que o amperímetro A_1 regista 0,50 A, indica as leituras dos amperímetros A_1 e A_2.

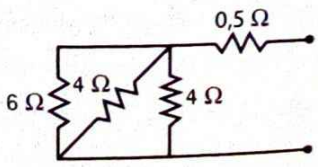


21. Mostra que, para cada uma das associações de resistências esquematizadas a seguir, o valor da resistência equivalente é de 2 Ω.

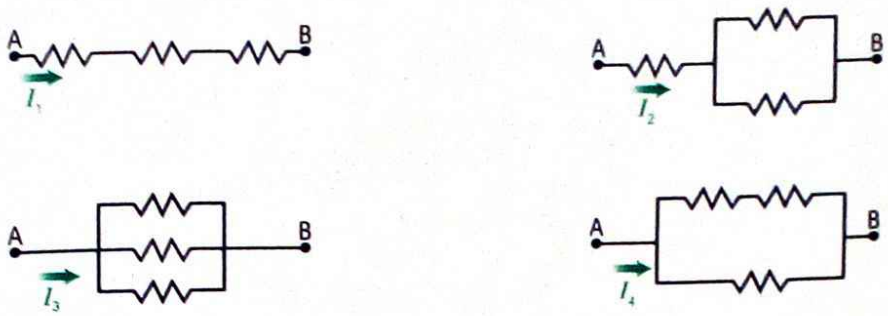




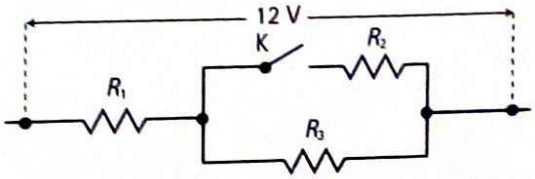




22. Os esquemas a seguir representam quatro associações de três resistências, cada uma no valor de 2 Ω. Se a d.d.p. estabelecida entre os pontos A e B for igual, qual das intensidades, I_1, I_2, I_3 ou I_4, é maior?



23. Três resistências tais que $R_1 = R_2 = R_3 = 4{,}0\ \Omega$ estão associadas segundo o esquema.



Calcula a intensidade de cada uma das correntes eléctricas I_1, I_2 e I_3 quando:

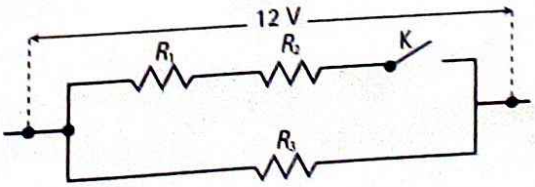
23.1. o interruptor K está fechado;

23.2. o interruptor K está aberto.

24. Considerando as mesmas resistências do exercício anterior, mas associadas conforme o esquema a seguir, calcula a intensidade de cada uma das correntes eléctricas I_1, I_2 e I_3 quando:

24.1. o interruptor K está fechado;

24.2. o interruptor K está aberto.



25. Duas lâmpadas, de 50 W e de 100 W, trabalham sob uma tensão de 220 V.

25.1. Em qual delas o filamento tem maior resistência?

25.2. Que quantidade de energia eléctrica consome cada uma das lâmpadas durante 5,0 h de funcionamento?

26. Um ferro-de-engomar tem as seguintes indicações: 220 V e 1000 W. Calcula, para este ferro:

26.1. a resistência do fio de aquecimento;

26.2. a intensidade da corrente eléctrica que percorre este fio;

26.3. a energia eléctrica consumida pelo ferro durante 30 min;

26.4. o custo da energia eléctrica consumida durante este tempo (o valor médio de 1 kW h é de 2,89 MT).

2 OSCILAÇÕES E ONDAS MECÂNICAS

1. INTRODUÇÃO

2. MOVIMENTO HARMÓNICO SIMPLES

3. CARACTERÍSTICAS DE UM OSCILADOR HARMÓNICO SIMPLES

4. MOVIMENTO ONDULATÓRIO

2 OSCILAÇÕES E ONDAS MECÂNICAS

Vou aprender

- Noção de oscilação
- Caracterizar o movimento oscilatório
- Identificar as grandezas fundamentais que caracterizam o movimento oscilatório
- Explicar a relação de proporcionalidade entre o período e o comprimento de um pêndulo simples
- Explicar a relação de proporcionalidade entre o período e a massa de um oscilador de mola
- Explicar o conceito de onda mecânica
- Caracterizar o movimento ondulatório
- Explicar fenómenos relacionados com ondas mecânicas

1. Introdução

O movimento oscilatório, bastante comum no nosso quotidiano, um caso especial de movimento periódico. Dizemos que o mov mento periódico é oscilatório (usa-se também vibratório) se o sentid do movimento é invertido regularmente. Entende-se aqui por inve são a mudança de sentido da velocidade.

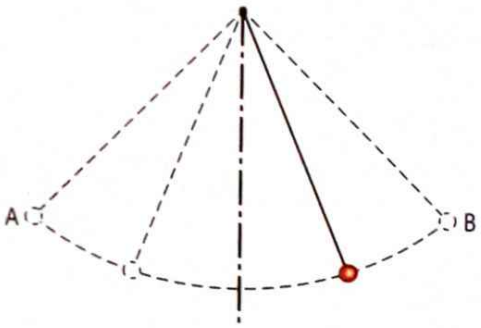


Fig. 1 – Exemplo de um movimento oscilatório – pêndulo simples.

O movimento do pêndulo simples proporciona-nos o exempl mais simples de um movimento oscilatório. Outro exemplo é o mov mento de uma partícula presa a uma mola. As cordas de uma viol executam, igualmente, movimentos oscilatórios, assim como as has tes de um diapasão.

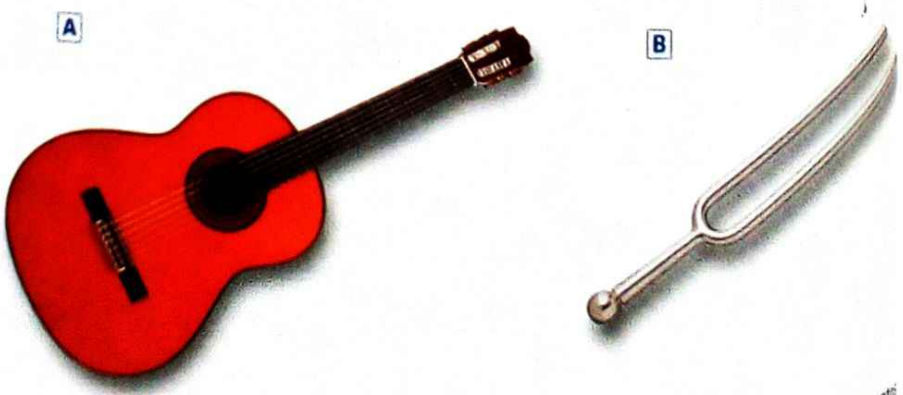


Fig. 2 – As cordas de uma viola **(A)** e as hastes de um diapasão **(B)** também executam movimentos oscilatórios.

O movimento periódico é o movimento de um objecto que se repete periodicamente, isto é, o objecto torna a uma dada posição após um intervalo de tempo fixo.

Um tipo especial de movimento periódico ocorre em sistemas mecânicos em que a força que actua no objecto é proporcional à posição do objecto relativamente a uma determinada posição de equilíbrio:

Se a força está sempre dirigida para a posição de equilíbrio, o movimento é chamado movimento harmónico simples.

2. Movimento harmónico simples

Suponha que um corpo, apoiado sobre uma superfície horizontal, sem atrito, está preso na extremidade de uma mola, como mostra a figura 3. A outra extremidade está fixa na parede e o ponto O representa a posição de equilíbrio do corpo, isto é, nesta posição (Fig. 3 A) a mola não exerce nenhuma força sobre o corpo, pois ela não está deformada (nem esticada, nem comprimida).

Se empurrarmos o corpo, comprimindo a mola uma distância A, até à posição B (Fig. 3 B), a mola passará a exercer sobre o corpo uma força $\vec{F}$, dirigida para a posição de equilíbrio.

Ao abandonarmos o corpo, ele será acelerado pela força e a sua velocidade vai aumentar à medida que ele se aproxima do ponto O (Fig. 3 C). A força $\vec{F}$ é proporcional à deformação, x, da mola e é dada por:

$$F = k\,x \qquad (2.1)$$

onde k é a constante elástica da mola. Assim, à medida que o corpo se afasta de B, o valor de $\vec{F}$ diminui, anulando-se quando ele atinge o ponto O.

Em virtude da velocidade adquirida, o corpo ultrapassa a posição de equilíbrio e a mola, estando agora esticada, passa a exercer uma força ainda dirigida para o ponto O e, portanto, de sentido contrário à velocidade do corpo (Fig. 3 D). O movimento é, então, retardado e, no ponto B', simétrico de B, a velocidade do corpo anula-se (Fig. 3 E). Partindo de B', o corpo é novamente acelerado para O, ultrapassa este ponto, sendo, então, retardado pela mola até alcançar o ponto B. Como não há atrito, este movimento de "vaivém", entre os pontos B e B', continua indefinidamente. Quando um corpo executa um movimento como este, indo e vindo sobre uma mesma trajectória, dizemos que ele está a oscilar ou vibrar entre os pontos B e B'.

No caso particular apresentado na figura 3, no qual a força que actua no corpo é proporcional à sua distância até à posição de equilíbrio ($F = k\,x$), o movimento oscilatório é designado por **movimento harmónico simples.**

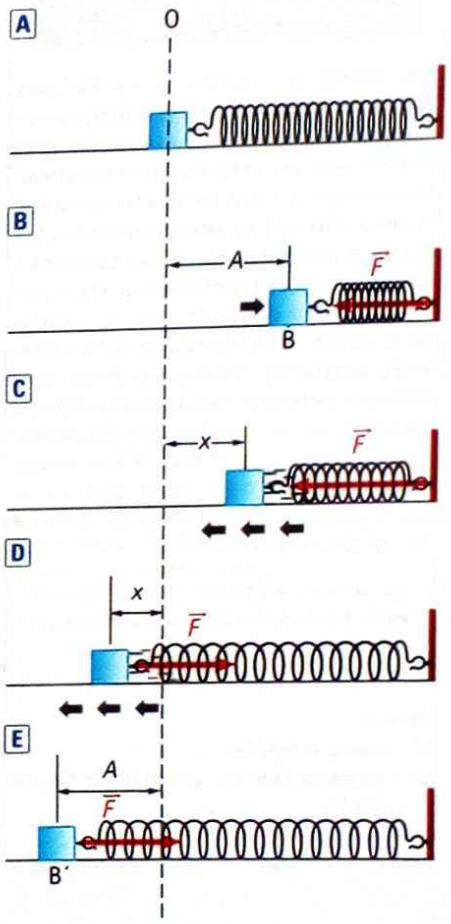


Fig. 3 – Um corpo, preso à extremidade de uma mola, oscila executando um movimento harmónico simples.

Em 1660, o físico inglês Robert Hooke, observando o comportamento mecânico de uma mola, descobriu que as deformações elásticas obedecem a uma lei muito simples. Hooke descobriu que quanto maior fosse o peso de um corpo suspenso numa das extremidades de uma mola, maior era a elongação sofrida pela mola. Analisando outros sistemas elásticos, Hooke verificou que existia sempre proporcionalidade entre a força elástica e a deformação elástica produzida. Pôde então enunciar o resultado das suas observações sob a forma de uma lei geral, a Lei de Hooke:

- as forças elásticas são proporcionais às deformações elásticas produzidas:

$$F = kx$$

onde:
F – força elástica;
k – constante de elasticidade da mola;
x – elongação.

Além do exemplo analisado na figura 3, podemos encontrar, no nosso dia-a-dia, várias outras situações em que o corpo executa um movimento oscilatório: a extremidade de uma lâmina em vibração, um ponto de uma corda esticada posta a oscilar, o pêndulo de um relógio em movimento, etc.

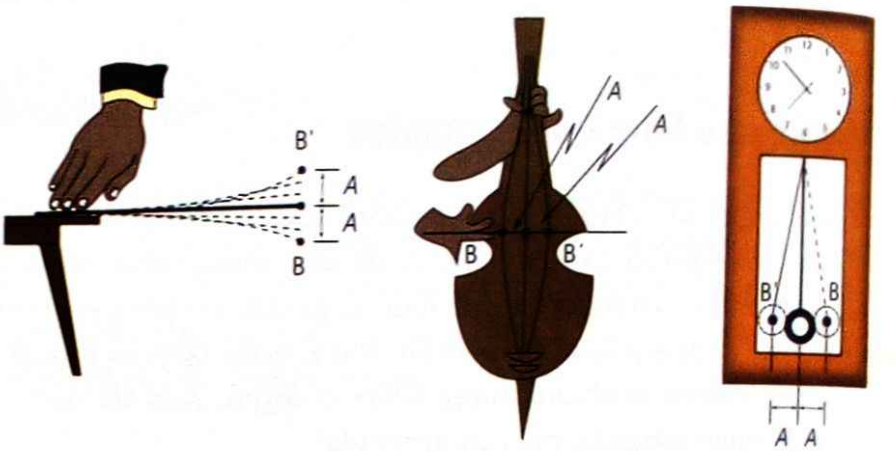


Fig. 4 – No nosso dia-a-dia encontramos várias situações em que um corpo executa movimento oscilatório.

Em todos estes casos, o corpo que oscila, ao ser afastado da sua posição de equilíbrio, fica sujeito à acção de uma força que tende a trazê-lo de volta para essa posição, como acontecia com o corpo preso à mola. Por este motivo, esta força que faz com que o corpo oscile é denominada **força restauradora**.

3. Características de um oscilador harmónico simples

As grandezas amplitude, frequência e período são características de todos os movimentos periódicos.

A distância entre a posição de equilíbrio e a posição máxima (positiva ou negativa) ocupada por um corpo que oscila é denominada **amplitude**, A, do movimento.

Na figura 3 mostramos a amplitude (OB ou OB') do corpo que oscila preso à mola.

Quando não há atrito, a amplitude do movimento oscilatório mantém-se constante. No entanto, quando o atrito não é desprezável, a amplitude diminui gradualmente até o corpo chegar ao repouso. Nestas condições, o movimento é denominado **movimento amortecido**.

Quando o corpo vai de uma posição extrema à outra e retorna à posição inicial (vai de B a B' e retorna a B), dizemos que ele efectuou uma vibração completa ou um ciclo.

O tempo que o corpo gasta para efectuar uma vibração completa é denominado **período**, T, do movimento. A unidade de período no SI é o **segundo** (s).

O número de vibrações completas que o corpo efectua por unidade de tempo é denominado **frequência**, f, do movimento.

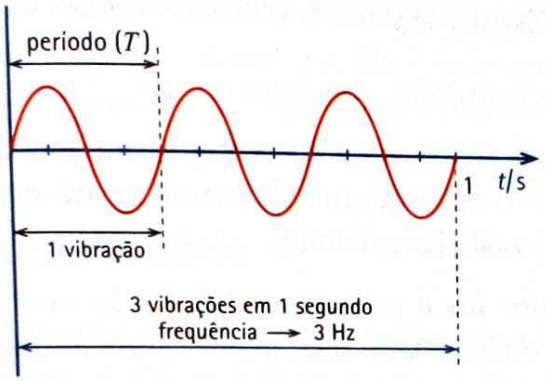


Fig. 5 – Representação gráfica de um movimento harmónico simples ao longo do tempo.

Por exemplo, se um corpo realizar seis oscilações por segundo, a frequência deste movimento é:

$$f = 6 \text{ oscilações/s} \quad \text{ou} \quad f = 6 \text{ ciclos/s}$$

A unidade de frequência no SI é o **hertz** (Hz), em homenagem ao famoso físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894).

A unidade do SI hertz é equivalente ao inverso do segundo:

$$\text{Hz} \iff \text{s}^{-1}$$

Assim, dizemos que a frequência do corpo é $f = 6$ Hz. Se o corpo executa seis vibrações por segundo, o tempo que ele gasta para efectuar uma vibração é de 0,17 s, ou seja, o seu período é:

$$T = \frac{1}{6} \iff T = 0{,}17 \text{ s}$$

Generalizando, podemos dizer que:

– se um corpo oscila com uma frequência f, o seu período de vibração, T, é dado por:

A unidade SI de período, T, é o segundo (s) e a de frequência, f, é o hertz (Hz).

$$T = \frac{1}{f} \qquad (2.2)$$

Desta relação podemos concluir que quanto maior for a frequência com que o corpo oscila, menor será o seu período e vice-versa.

3.1. Período do movimento harmónico simples

Aplicando a 2.ª Lei de Newton a um corpo que executa um movimento harmónico simples, como o bloco da figura 3, é possível estabelecer uma relação entre o período, T, do movimento, a massa, m, do corpo, e a constante elástica, k, da mola.

Através de cálculos matemáticos, chegamos à seguinte expressão:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad (2.3)$$

Esta expressão permite-nos calcular o **período**, T, **do movimento harmónico simples** quando conhecemos os valores de m e k.

O período de um movimento harmónico simples de uma mola depende da massa do corpo e da constante elástica da mola, mas é independente da amplitude de oscilação.

Analisando a expressão, concluímos que:

- quanto maior for a massa do corpo, maior será o seu período de oscilação, isto é, um corpo de maior massa oscila com menor frequência (oscila lentamente);
- quanto maior for a constante elástica da mola, menor será o período de oscilação, ou seja, maior será a frequência com que o corpo oscila;
- o período não depende da amplitude, pois não aparece na expressão. Este facto pode ser facilmente verificado prendendo-se um corpo na extremidade de uma mola e fazendo-o oscilar com uma amplitude $A = 5$ cm, por exemplo. Ao repetirmos a experiência com uma amplitude maior ($A = 10$ cm), verificamos que o período de oscilação é o mesmo em ambas as situações.

3.2. Pêndulo simples

Considere um pequeno corpo, de massa m, preso na extremidade de um fio de peso desprezável, cujo comprimento é L, oscilando num plano vertical, como mostra a figura 6.

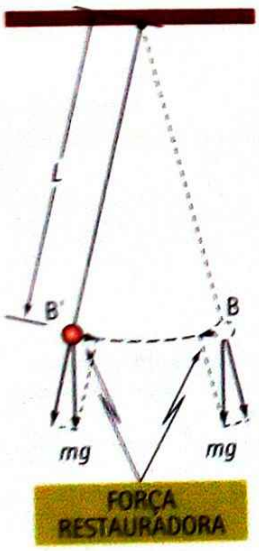


Fig. 6 – Pêndulo simples em oscilação.

Este dispositivo constitui um pêndulo simples em oscilação. A força restauradora que mantém o corpo em oscilação é a componente do seu peso tangente à trajectória.

Se a amplitude do movimento do pêndulo não for muito grande, a trajectória curva, BB', descrita pelo corpo que oscila, pode ser considerada como sendo um segmento de recta horizontal. Com esta simplificação, é possível demonstrar que a força restauradora é proporcional à distância do corpo à posição de equilíbrio, isto é, para pequenas amplitudes o pêndulo executa um movimento harmónico simples.

Nestas condições, através de um desenvolvimento matemático semelhante ao que é feito para o caso de um corpo preso a uma mola, podemos chegar à seguinte expressão que nos permite calcular o **período de oscilação do pêndulo simples:**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad (2.4)$$

Analisando esta expressão, conclui-se que:

- quanto maior for o comprimento do pêndulo, maior será o seu período;
- quanto maior for o valor da aceleração da gravidade no local onde o pêndulo oscila, menor será o seu período;
- o período do pêndulo não depende nem da sua massa nem da amplitude de oscilação (desde que ela seja pequena), pois estas grandezas não aparecem na expressão do período T.

O período de oscilação de um pêndulo simples depende do comprimento do pêndulo e da aceleração da gravidade no local onde o pêndulo oscila.

É independente da massa do pêndulo e da amplitude de oscilação.

4. Movimento ondulatório

Uma onda periódica é uma perturbação periódica que se move através de um meio. A figura 7 mostra uma corda presa numa das suas extremidades e esticada horizontalmente por uma pessoa.

Se esta pessoa movimentar a sua mão para cima e em seguida para baixo, retornando à posição inicial, verifica-se que um pulso se propaga ao longo da corda com uma determinada velocidade.

Se fixarmos a nossa atenção num ponto qualquer da corda, percebemos que esse ponto se desloca para cima e para baixo, reproduzindo o movimento da mão, enquanto o pulso passa por ele.

Isto significa que é apenas o pulso que se desloca ao longo da corda, enquanto os seus pontos simplesmente sobem e descem à medida que o pulso passa por eles.

Imaginemos, agora, uma pessoa a movimentar a corda com a sua mão, para cima e para baixo.

Neste caso, teremos uma série de pulsos, voltados alternadamente para cima e para baixo, a propagarem-se ao longo da corda, como mostra a figura 8.

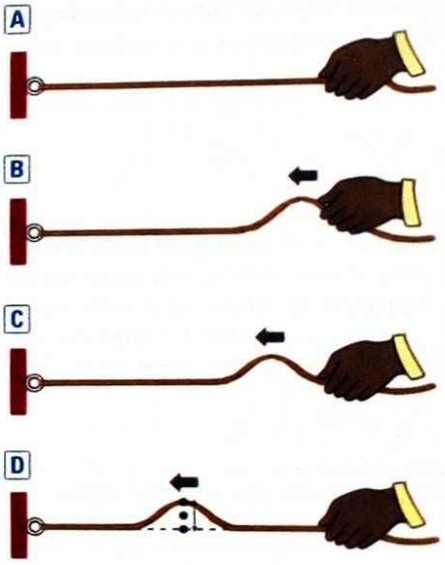


Fig. 7 – Propagação de um pulso ao longo de uma corda esticada.

O pulso é uma perturbação que se desloca ao longo da corda, embora esta não se desloque no seu conjunto.

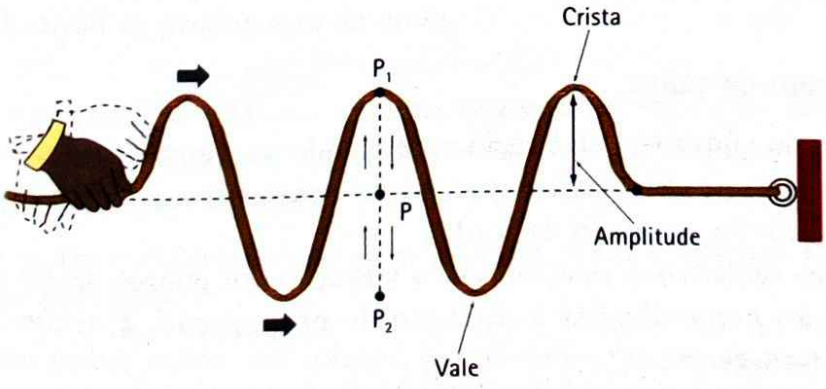


Fig. 8 – Uma onda é constituída por cristas e vales que se propagam ao longo da corda.

Dizemos que esta série de pulsos constitui uma onda a propagar-se na corda. Os pontos mais altos dos pulsos que estão voltados para cima são denominados **cristas da onda** e os pontos mais baixos dos pulsos inferiores são os **vales da onda**.

Um ponto qualquer do meio material (no caso da corda), ao ser atingido pela onda, inicia um movimento vibratório, oscilando enquanto a onda passa por ele. Por exemplo, o ponto P da figura 8 vibra, dirigindo-se de P a P_1, indo até P_2, retornando a P, e assim sucessivamente, enquanto passam por ele as cristas e os vales.

A amplitude e a frequência de vibração deste ponto definem a **amplitude e a frequência da onda:**

A amplitude e a frequência de uma onda são a amplitude e a frequência das vibrações de um ponto do meio no qual ela se propaga.

Assim, na figura 8, a amplitude da onda é PP_1 e a frequência da onda é o número de vibrações que o ponto P executa em 1 segundo.

Observa-se, assim, que a amplitude e a frequência do movimento ondulatório são determinadas pelo movimento da mão da pessoa que deu origem à onda.

Isto significa que se a pessoa desejar produzir uma onda de maior amplitude, ela deverá simplesmente aumentar a amplitude de vibração da mão.

Do mesmo modo, ela pode fazer variar a frequência da onda alterando a frequência com que a sua mão oscila.

Em qualquer uma das situações a frequência do movimento ondulatório será sempre igual à frequência com que a mão da pessoa está a oscilar. Evidentemente, sendo T o período da onda (período de oscilação de um ponto do meio) e f a sua frequência, é válida, também aqui, a relação $f = \frac{1}{T}$ que já conhecemos.

4.1. Tipos de ondas

No movimento ondulatório apresentado na figura 8, os pontos da corda vibram para cima e para baixo enquanto a onda se propaga para a direita, ao longo da corda.

Numa onda transversal, a direcção da vibração dos pontos ocorre perpendicularmente à direcção de propagação.

Uma onda como esta, em que a vibração dos pontos ocorre numa direcção perpendicular à direcção de propagação, é denominada **onda transversal**.

É claro que podemos fazer uma onda como esta propagar-se não apenas numa corda, mas também, por exemplo, numa mola esticada ou ao longo de um tubo de borracha.

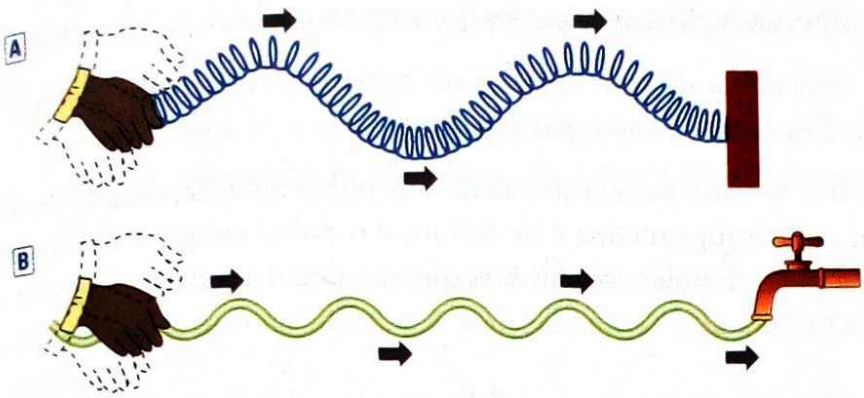


Fig. 9 – Onda transversal a propagar-se numa mola **(A)** e num tubo de borracha **(B)**.

As ondas luminosas são exemplos de ondas transversais.

No entanto, se uma pessoa movimentar para a frente e para trás a extremidade de uma mola esticada, dando a esta extremidade um movimento oscilatório na direcção da própria mola, verificaremos que um distúrbio, constituído por uma série de "compressões" e "rarefacções", propaga-se ao longo da mola.

Uma onda longitudinal apresenta zonas de:

- **compressão** – zonas de maior pressão em relação à pressão atmosférica local;
- **rarefacção** – zonas de menor pressão em relação à pressão atmosférica local.

Um distúrbio como este propagando-se na mola é denominado **onda longitudinal.**

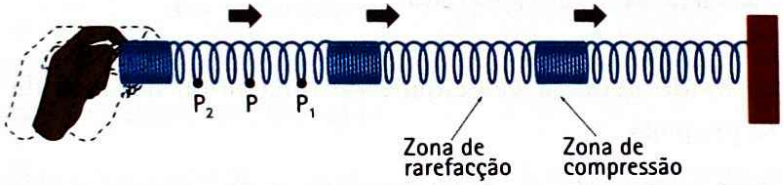


Fig. 10 – Onda longitudinal a propagar-se numa mola.

Numa onda longitudinal, a direcção da vibração dos pontos ocorre paralelamente à direcção de propagação, ou seja, é a mesma.

As ondas sonoras são exemplos de ondas longitudinais.

Em resumo:

- **numa onda transversal, os pontos do meio no qual ela se propaga vibram perpendicularmente em relação à direcção de propagação da onda;**
- **numa onda longitudinal, os pontos do meio no qual ela se propaga vibram paralelamente, ou seja, coincidem em relação à direcção de propagação da onda.**

Certas ondas só se propagam em meios materiais, sendo denominadas **ondas mecânicas.** As ondas numa corda e numa mola são exemplos deste tipo de ondas.

As ondas sonoras, as ondas do mar e as ondas sísmicas são ondas mecânicas, pois necessitam de um meio material (sólido, líquido ou gasoso) para se propagarem.

As ondas mecânicas só se propagam em meios que sejam formados por partículas.

Estes meios podem ser sólidos, líquidos ou gasosos. A onda propaga-se devido à transferência de energia entre as partículas que constituem o meio, fazendo-as vibrar.

As ondas electromagnéticas, como, por exemplo, as ondas luminosas, não necessitam de um meio material para se propagarem, ou seja, propagam-se no vazio.

4.2. Velocidade de propagação de uma onda

A velocidade de uma onda num meio é a velocidade com que c pulsos da onda se propagam nesse meio.

Assim, se uma pessoa produzir um pulso na extremidade de um corda, cujo comprimento é de 6,0 m, e o pulso atingir a outra extr midade 1,5 s depois, concluímos que a velocidade de propagação d onda na corda é:

$$v = \frac{6{,}0}{1{,}5} = 4 \text{ m/s}$$

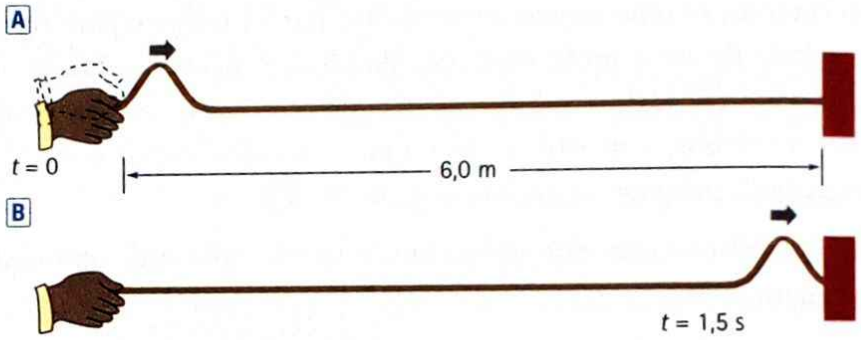


Fig. 11 – Propagação de um pulso numa corda.

De um modo geral, a velocidade de uma onda depende do mei em que se propaga.

Para uma corda, por exemplo, verifica-se que quanto mais gross ela for (maior massa por unidade de comprimento), menor será velocidade da onda.

Esta velocidade depende, também, da tensão a que a corda est submetida: quanto mais esticada ela estiver, maior será a velocidad de propagação da onda.

Vamos agora considerar que uma pessoa executa uma vibraçã completa, numa corda esticada.

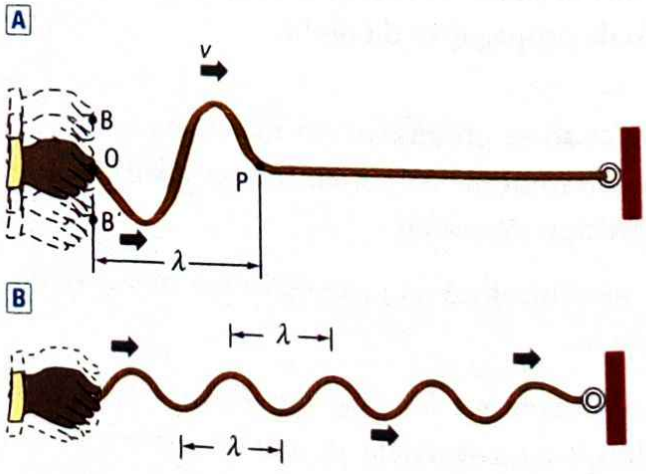


Fig. 12 – O comprimento de onda é a distância que a onda percorre durante um período.

Já sabemos que o intervalo de tempo desta oscilação é o período, T, da onda.

Durante este tempo, a onda propaga-se na corda com uma velocidade constante, percorrendo uma certa distância OP, como mostra a figura 12 A.

Esta distância que a onda percorre durante um período é denominada **comprimento de onda** e é representada pela letra grega λ (lambda).

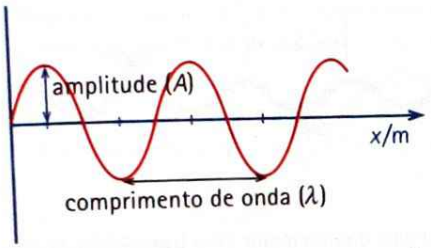


Fig. 13 – Representação gráfica de uma onda com indicação da amplitude e do comprimento de onda.

Como a onda se propaga com velocidade v, constante, podemos escrever:

$$\lambda = v\,T \text{ e como } T = \frac{1}{f}, \text{ vem } \lambda = \frac{v}{f}.$$

Assim, podemos concluir que:

O comprimento de onda é a distância que a onda percorre durante um período T.

Sendo v a velocidade de propagação da onda e f a sua frequência, tem-se:

$$\lambda = v\,T \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{v}{f} \qquad (2.5)$$

A velocidade de propagação da onda é constante ao longo de um determinado meio material.

Se a pessoa continuar a oscilar a mão, uma série de cristas e vales vão propagar-se na corda.

É fácil perceber que a distância entre duas cristas sucessivas, ou entre dois vales sucessivos, é também igual ao comprimento de onda (Fig. 12 B).

Sendo o comprimento de onda uma distância, a sua respectiva unidade no SI é o **metro** (m).

Já vimos que num dado meio a velocidade de propagação da onda é constante e característica daquele meio. Por outro lado, a frequência da onda pode ser alterada pela pessoa que a produz.

Então, na relação $\lambda = \frac{v}{f}$, como v é constante para um dado meio, vemos que o comprimento de onda, λ, é inversamente proporcional à

frequência, f, isto é, se a pessoa produzir uma onda de alta frequência, obterá uma onda com um comprimento de onda baixo e vice-versa (Fig. 14).

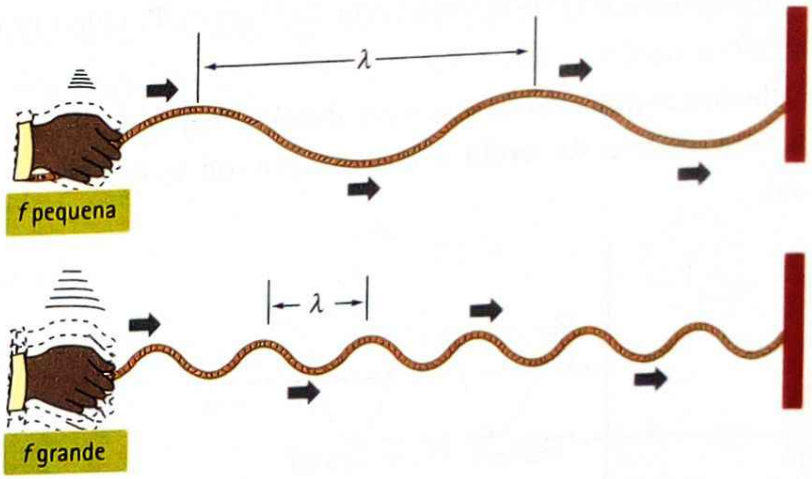


Fig. 14 – Num dado meio, quanto maior for a frequência de uma onda, menor será o seu comprimento de onda.

A figura 15 A mostra uma corda esticada, constituída por uma parte mais fina ligada a outra parte mais grossa.

Temos então dois meios diferentes, (1) e (2), e já sabemos que a velocidade de propagação de uma onda na parte mais fina é maior do que na parte mais grossa.

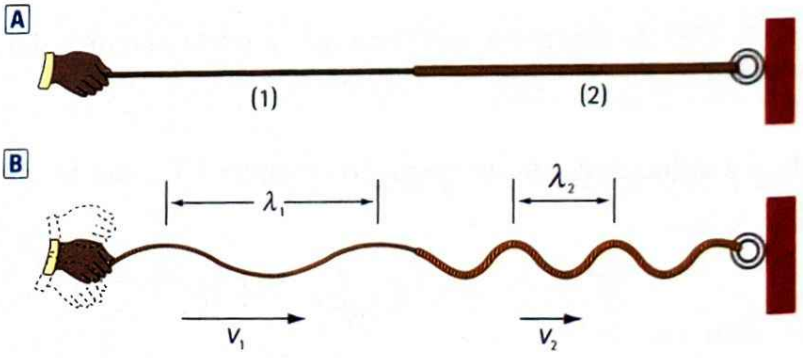


Fig. 15 – Quando uma onda passa de um meio para o outro, a sua frequência não se altera.

Fazendo oscilar a extremidade da corda fina, uma onda propaga-se ao longo dela, transmitindo-se da parte fina para a parte grossa.

É fácil perceber que se a corda estiver a vibrar, por exemplo, com uma frequência de 5 vibrações/s (teremos 5 pulsos por segundo), ao chegar ao ponto de união das duas cordas, os 5 pulsos por segundo irão, consequentemente, propagar-se na corda grossa.

A frequência de uma onda é independente do meio no qual se propaga.

Concluímos, assim, que **a frequência de uma onda não se altera quando ela muda de um meio para outro.**

Pela equação $\lambda = \frac{v}{f}$, sendo o valor de f o mesmo para os meios (1) e (2), vemos que, no meio no qual a onda se propaga com maior velocidade, ela terá um maior comprimento de onda e vice-versa.

Quando uma pessoa produz um pulso numa corda, como mostra a figura 15, a sua mão oscila em torno da posição de equilíbrio. O máximo afastamento relativamente à posição média é a amplitude de oscilação, A, que se indica na figura 16.

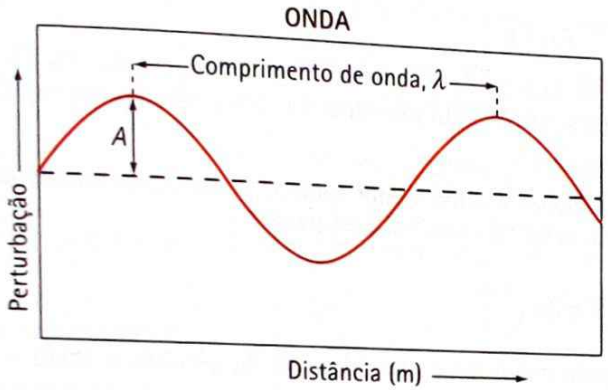


Fig. 16 – Onda que se propaga numa corda, com indicação do comprimento de onda e da amplitude.

Se não houver perdas de energia, todos os pontos da corda terão o movimento igual ao da mão da pessoa, pelo que a amplitude da onda será igual à amplitude de oscilação.

Podemos, assim, resumir as **características de uma onda:**

- **Período** (T) – intervalo de tempo que demora uma oscilação completa. Só depende do período de oscilação da fonte emissora.
  A unidade SI é o segundo (s).
- **Comprimento de onda** (λ) – é a menor distância que separa duas partículas oscilantes que têm as mesmas características (elongação e sentido de movimento). Depende do meio de propagação.
  A unidade SI é o metro (m).
- **Amplitude** (A) – afastamento vertical máximo da oscilação relativamente à posição de equilíbrio. Depende da amplitude da fonte emissora e do meio de propagação.
  A unidade SI é o metro (m).
- **Frequência** (f) – número de vibrações completas por unidade de tempo. Só depende da frequência de oscilação da fonte emissora.
  A unidade SI é o hertz (Hz).
- **Velocidade de propagação** (v) – indica a velocidade com que se propaga a onda. Depende do meio de propagação e é constante no mesmo meio.
  A unidade SI é o metro por segundo (m/s).

Características de uma onda:
- Período (T)
- Comprimento de onda (λ)
- Amplitude (A)
- Frequência (f)
- Velocidade de propagação (v)

RESUMINDO...

Um **movimento periódico** é um movimento em que um corpo:

- percorre repetidamente a mesma trajectória;
- passa pela mesma posição, com a mesma velocidade, ao fim de um intervalo de tempo igual a um período.

Um **movimento oscilatório ou vibratório** é um movimento periódico em que a trajectória é percorrida em ambos os sentidos, em torno de uma posição de equilíbrio.

Um corpo ligado a uma mola executa um **movimento harmónico simples**, quando oscila periodicamente em torno da posição de equilíbrio, sob a acção de uma força cuja intensidade é proporcional ao elongamento ou compressão produzida na mola – **Lei de Hooke**:

$$F = kx$$

A **constante elástica** k é uma característica da mola que mede a intensidade da força elástica por unidade de alongamento. A coordenada x – **elongação** – representa o elongamento da mola relativamente à posição de equilíbrio.

O **período** de um corpo em **movimento harmónico simples** é tanto maior quanto maior for a massa do corpo que executa o movimento e tanto menor quanto maior for o valor da constante elástica.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

O **período de um pêndulo simples** é tanto maior quanto maior for o comprimento do pêndulo e tanto menor quanto maior for o valor da aceleração da gravidade no local onde o pêndulo oscila.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

Eistem dois **tipos de ondas**:

- as **ondas transversais**, cuja direcção da vibração dos pontos ocorre perpendicularmente à direcção de propagação;
- as **ondas longitudinais**, cuja direcção da vibração dos pontos ocorre paralelamente à direcção de propagação.

As **ondas mecânicas** correspondem à propagação de uma perturbação mecânica num meio material elástico que transfere energia mecânica sem que exista transporte de matéria.

Uma onda, para percorrer uma distância igual à do seu comprimento de onda, demora um intervalo de tempo equivalente ao seu período, sendo a **velocidade de propagação** dada por:

$$v = \lambda f \quad \text{ou} \quad v = \frac{\lambda}{T}$$

JÁ SEI...

Copia para o teu caderno e completa as frases com as seguintes palavras-chave:

amplitude **meio** **tempo** **frequência** **comprimento**
distância **amplitude** **massa** **período**

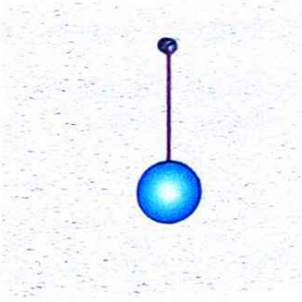
- As grandezas _____, _____ e _____ são características de um oscilador harmónico simples.
- A _____ entre a posição de equilíbrio e a posição extrema ocupada por um corpo que oscila é denominada amplitude do movimento.
- O _____ que o corpo gasta para efectuar uma vibração completa é denominado período do movimento.
- As ondas mecânicas necessitam de um _____ material para se propagarem.
- O período de um pêndulo simples depende do _____ do pêndulo e não depende da sua _____ nem da _____ de oscilação.

ACTIVIDADE EXPERIMENTAL N.° 1 (TRABALHO EM GRUPO)

Construção de um pêndulo simples

Material necessário: Fio fino e resistente, duas esferas pequenas e de massas diferentes, suporte, cronómetro.

Modo de proceder:



1. Prender a esfera numa das extremidades do fio.
2. Prender a outra extremidade do fio num suporte (por exemplo: um prego preso na parede), de modo que o comprimento do pêndulo seja cerca de 50 cm.
3. Colocar o pêndulo a oscilar e, usando um cronómetro, medir o tempo que o pêndulo demora a efectuar 20 oscilações completas.
4. Aumentar o comprimento do pêndulo para 2 metros e repetir o procedimento anteriormente descrito.
5. Substituir a esfera por outra de maior massa e voltar a repetir os procedimentos anteriormente descritos.

Observações e conclusões:

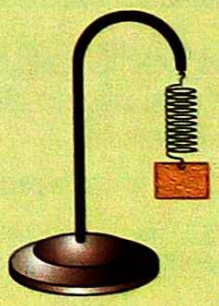
1. Determina o período das oscilações para cada esfera.
2. O período do pêndulo aumentou, diminuiu ou não se alterou quando o seu comprimento foi aumentado?
3. O período do pêndulo tornou-se maior, menor ou praticamente não se modificou quando foi alterado o valor da massa da esfera?

ACTIVIDADE EXPERIMENTAL N.° 2 (TRABALHO EM GRUPO)

Relação entre o período, a massa e a constante elástica de uma mola

Material necessário: Duas molas (uma mais mole e outra mais dura), dois corpos de massas diferentes, suportes.

Modo de proceder:



1. Suspender verticalmente uma mola, prendendo uma das suas extremidades num suporte.
2. Prender um corpo na outra extremidade da mola e colocar a mola a oscilar na direcção vertical.
3. Observar o período ou a frequência com que o corpo está a oscilar.
4. Substituir o corpo por outro de massa bem maior. Repetir os procedimentos **2.** e **3.**.
5. Trocar a mola e repetir todo o procedimento anteriormente descrito.

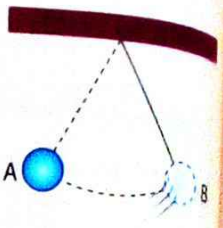
Observações e conclusões:

Tendo em conta as observações que efectuaste, responde às seguintes questões.

1. Como é que variou o período com o aumento da massa?
2. Quando se utilizou a mola mais dura (maior valor de k), o período tornou-se maior ou menor?

Aplico

1. Numa experiência com um pêndulo simples, como o da figura ao lado, verificou-se que o corpo suspenso, saindo de A, deslocava-se até B e retornava a A, 20 vezes em 10 segundos.



1.1. Qual é o período deste pêndulo?

1.2. Qual é a frequência de oscilação do pêndulo?

1.3. Se a experiência fosse realizada com um pêndulo de comprimento quatro vezes maior, qual seria o seu período?

Resolução:

1.1. $T = \frac{10}{20} \iff T = 0{,}50\ \text{s}$

1.2. $f = \frac{20}{10} \iff f = 2{,}0\ \text{Hz}$

1.3. A expressão $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ mostra que T é proporcional à raiz quadrada de l. Então, multiplicando l por 4, T fica multiplicado por $\sqrt{4} = 2$.

Assim, o período deste pêndulo será duas vezes maior que o pêndulo da primeira experiência, isto é:

$T = 2 \times 0{,}5 = 1{,}0\ \text{s}$

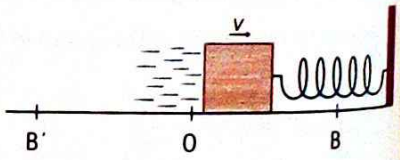
2. Um corpo de massa $m = 400$ g está a oscilar, sem atrito, preso à extremidade de uma mola cuja constante elástica é $k = 160$ N/m. A amplitude do movimento é $A = 10$ cm.

2.1. Calcula o período de oscilação do corpo.

2.2. Determina a frequência deste movimento.

2.3. Qual seria o período do movimento se a sua amplitude fosse reduzida para 5 cm?

3. Um bloco, preso a uma mola, oscila (sem atrito) entre os pontos B e B', como se mostra na figura ao lado.



3.1. Qual é o sentido da força restauradora que a mola exerce no bloco?

3.2. Qual é o sentido da aceleração que o bloco possui?

3.3. O movimento do bloco é acelerado ou retardado?

Resolução:

3.1. Da direita para a esquerda.

3.2. Da direita para a esquerda.

3.3. Retardado, porque a velocidade e a aceleração da gravidade têm sentidos opostos.

4. Considerando o movimento do bloco do exercício anterior, diz em que ponto (ou pontos):

4.1. a força que actua no bloco é máxima;

4.2. a força que actua no bloco é nula;

4.3. o módulo da velocidade do bloco é máximo;

4.4. a velocidade do bloco é nula;

4.5. a força que actua no bloco muda de sentido.

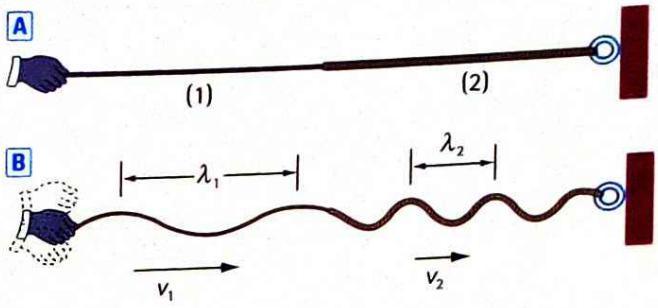
5. Um corpo executa um movimento harmónico simples, preso à extremidade de uma mola. Indica se o tempo que o corpo gasta para efectuar uma vibração completa aumentará, diminuirá ou não sofrerá alteração em cada um dos seguintes casos.

5.1. O corpo é substituído por outro de massa menor.

5.2. A mola é substituída por outra mais macia.

5.3. O corpo é colocado em vibração com uma amplitude menor.

6. Considera a figura ao lado. Supõe que a frequência de oscilação da mão da pessoa aumenta. Nestas condições:



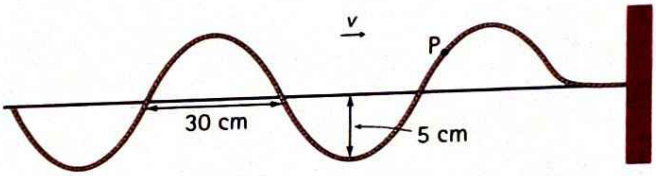
6.1. A frequência da onda da corda (1) aumentará, diminuirá ou não sofrerá alteração? E a frequência da onda da corda (2)?

6.2. Os valores de v_1 e v_2 sofrem alteração? Explica.

6.3. Os valores dos comprimentos de onda das duas cordas serão aumentados, diminuídos ou não sofrem alteração?

7. Uma estação de rádio emite uma onda electromagnética de frequência $f = 1{,}5$ kHz. Sabe-se que a velocidade de propagação desta onda no ar é igual à velocidade da luz ($v = 3 \times 10^8$ m/s). Calcula o valor do comprimento de onda para esta onda de rádio.

8. A figura ao lado mostra uma onda que se propaga para a direita ao longo de uma corda. No instante observado na figura, a velocidade do ponto P é representada por:



(A) → (B) ↑ (C) ↗

(D) ↘ (E) ↓

Selecciona a opção correcta.

9. Sabe-se que a frequência da onda do exercício anterior é $f = 2{,}0$ Hz. Quais das seguintes afirmações estão correctas?

(A) O período da onda é igual a 0,5 s.

(B) A amplitude da onda é igual a 5 cm.

(C) O comprimento de onda é igual a 60 cm.

(D) A velocidade de propagação da onda é igual a 120 cm/s.

10. Um corpo de massa m executa um movimento harmónico simples preso à extremidade de uma mola cuja constante elástica é k. Qual deve ser o comprimento L do pêndulo simples para que ele oscile com um período igual ao do corpo preso à mola?

11. Escolhe, entre as afirmações seguintes, as que se referem a propriedades das ondas.

(A) Uma onda caracteriza-se pela existência de uma perturbação inicial que se propaga, instantaneamente, a todos os pontos do meio.

(B) Uma onda é devida a uma perturbação inicial que transfere as partículas constituintes do meio de um ponto para outro.

(C) Uma onda caracteriza-se pela existência de uma perturbação inicial que altera localmente uma propriedade física do meio e pela propagação dessa perturbação através desse meio.

(D) Uma onda é devida a uma perturbação inicial que se propaga através do meio, transferindo energia.

(E) Há um atraso entre o instante em que ocorre a perturbação inicial capaz de produzir uma onda e o instante em que esta atinge, sucessivamente, outros pontos do meio.

3 ELECTRO-MAGNETISMO

Vou aprender

- A caracterizar um campo magnético
- A indicar o significado físico de campo magnético
- A descrever algumas propriedades dos ímanes
- A reconhecer os ímanes como fontes de campo magnético
- A reconhecer a relação entre a corrente eléctrica e o campo magnético
- A caracterizar as interacções entre campos magnéticos
- A explicar o funcionamento de um electroíman
- A explicar a utilização da bússola

Desde a Antiguidade que os Chineses utilizavam ímanes para construir bússolas que usavam para se orientarem nas suas deslocações, nomeadamente militares, já que as agulhas magnéticas se orientam na direcção do eixo terrestre norte-sul magnético, que é próximo do eixo terrestre Norte-Sul geográfico. Hoje em dia os ímanes são utilizados em microfones, altifalantes, computadores, motores, geradores, etc.

O ramo da Física que estuda a electricidade e o magnetismo é o **electromagnetismo**.

Esta área da Física é tão importante que está presente em praticamente toda a tecnologia, desde o teu telemóvel aos computadores e automóveis.

Hoje, sabemos que os campos magnéticos e os campos eléctricos estão relacionados.

Fig. 1 – Exemplos de aplicações dos ímanes: **(A)** bússolas, **(B)** microfones, **(C)** altifalantes e **(D)** computadores.

1. Ímanes

Designam-se por **ímanes** todos os objectos com propriedades magnéticas. Existem na Natureza **ímanes naturais**, como é o caso da magnetite, que é um minério de ferro, e **ímanes artificiais**, que são feitos de ferro e aço.

Fig. 2 – Íman natural: magnetite.

Fig. 3 – Íman artificial.

Os ímanes que existem nas escolas são ímanes artificiais.

Os ímanes são constituídos por duas zonas distintas, que se designam por **pólos magnéticos**: o pólo norte e o pólo sul.

Esses pólos não se podem separar um do outro, ou seja, não existem pólos magnéticos isolados.

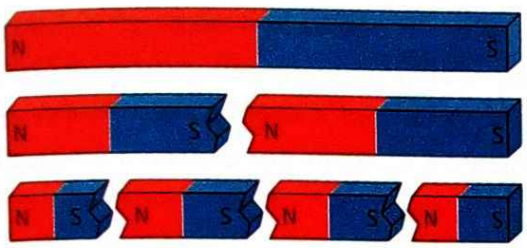


Fig. 4 – Partindo um íman obtêm-se dois ímanes e assim sucessivamente.

Sabias que...

...o nome magnetismo tem origem no nome Magnésia, cidade da Ásia Menor, onde hoje se situa a Turquia?

Aproximando dois ímanes foi possível chegar às **leis qualitativas do electromagnetismo**: pólos magnéticos contrários atraem-se e pólos magnéticos iguais repelem-se.

Leis qualitativas do electromagnetismo:

– pólos magnéticos diferentes atraem-se;

– pólos magnéticos iguais repelem-se.

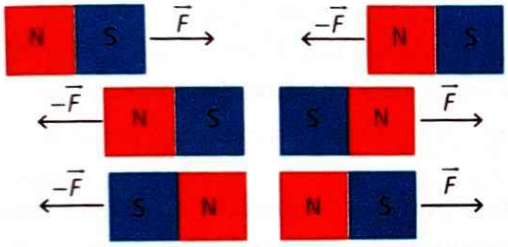


Fig. 5 – Ímanes em interacção: pólos magnéticos iguais repelem-se e pólos magnéticos diferentes atraem-se.

1.1. Campos magnéticos criados por ímanes

Os ímanes criam campos magnéticos à sua volta.

A interacção entre dois ímanes é uma interacção à distância. Os **ímanes criam campos magnéticos à sua volta** que podem ser sentidos devido à força magnética que estes exercem sobre outros ímanes. O campo magnético será tanto mais intenso quanto maior for a força magnética (atractiva ou repulsiva) exercida sobre outro íman colocado ao seu redor.

O **campo magnético** é uma região do espaço onde se manifesta o magnetismo através de interacções magnéticas. Estas interacções verificam-se à distância e somente algumas substâncias as sentem. Por exemplo, os materiais ferrosos são fortemente influenciados, ao contrário do cobre ou do papel, que não possuem propriedades magnéticas.

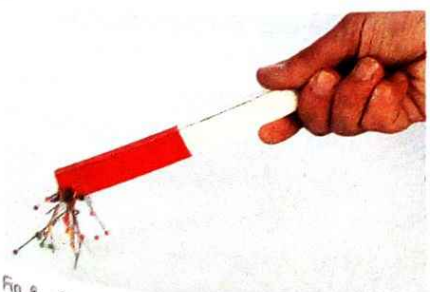


Fig. 6 – Os alfinetes têm propriedades magnéticas, pois são atraídos pelo íman.

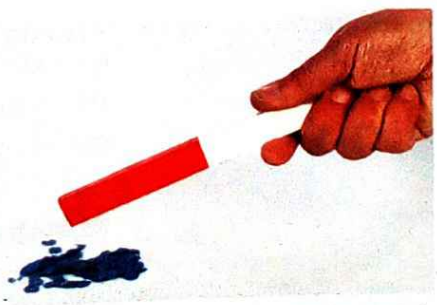


Fig. 7 – O papel não tem propriedades magnéticas, pois não é atraído pelo íman.

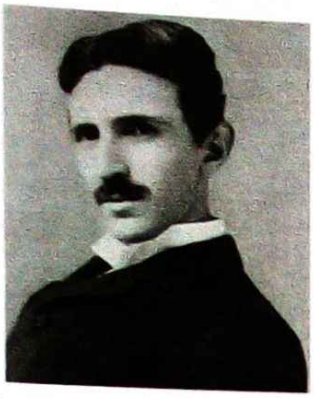


Fig. 8 – Nikola Tesla, engenheiro electrotécnico norte-americano de origem sérvia, viveu nos séculos XIX e XX (1856-1943).

O campo magnético é a grandeza utilizada para descrever a maior ou menor força que actua sobre os ímanes. É uma grandeza vectorial que se representa por $\vec{B}$ e a sua unidade no Sistema Internacional é o **tesla** (T), em homenagem a **Nikola Tesla.**

Se colocarmos limalha de ferro sobre um vidro e por baixo existir um íman é possível visualizar a acção das forças num campo magnético, designando-se esta imagem por **espectro magnético.**

Fig. 9 – Visualização de um espectro magnético.

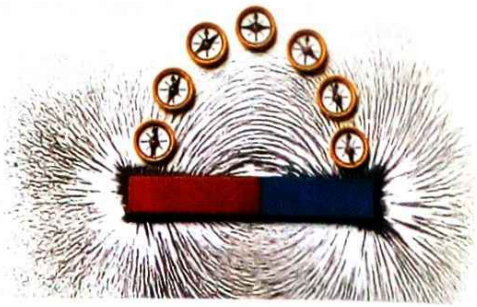


Fig. 10 – Espectro magnético.

Observando o espectro magnético, torna-se mais fácil imaginar linhas de campo magnético, ao longo das quais se orientam as partículas da limalha de ferro.

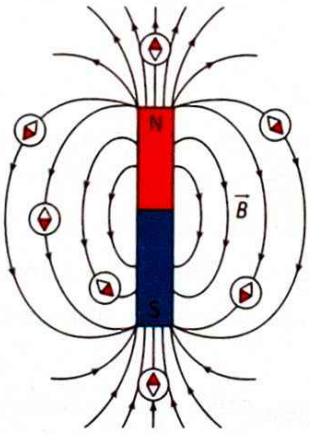


Fig. 11 – Linhas de campo magnético.

As linhas de campo magnético são linhas imaginárias que representam a direcção e a intensidade do campo magnético.

Estas linhas indicam a direcção e o sentido do campo magnético. São sempre fechadas, saem sempre do pólo norte e entram no pólo sul e nunca se cruzam porque, caso isso acontecesse, teríamos dois campos magnéticos diferentes no mesmo ponto.

A densidade das linhas de campo magnético relaciona-se com a intensidade do campo magnético: quanto maior for a densidade das linhas de campo mais intenso será esse campo. O campo magnético é mais intenso na região perto do íman do que em zonas afastadas.

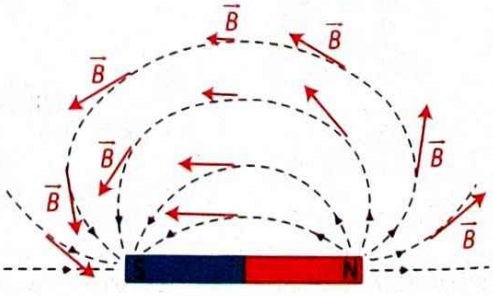


Fig. 12 – Intensidade e direcção do campo magnético.

Quando se colocam dois ímanes com pólos magnéticos iguais juntos, os ímanes repelem-se mutuamente, assim como as respectivas linhas de campo magnético (Fig. 13A).

Se os pólos magnéticos dos ímanes forem opostos, estes já se vão atrair mutuamente, tal como as suas linhas de campo magnético (Fig. 13B).

Fig. 13 – **(A)** Linhas de campo magnético de dois ímanes que se repelem; **(B)** Linhas de campo magnético de dois ímanes que se atraem.

1.2 Caracterização do campo magnético

Podemos, assim, resumir que as **linhas de campo magnético:**

- são tangentes ao campo magnético;
- têm o sentido do campo magnético;
- o número de linhas de campo por unidade de área é directamente proporcional à intensidade do campo;
- são linhas fechadas (começam e terminam no mesmo magnete);
- nunca se cruzam.

Quando as linhas de campo magnético têm **a mesma direcção, o mesmo sentido e igual espaçamento entre elas dizemos que o campo magnético é uniforme** (Fig. 14A).

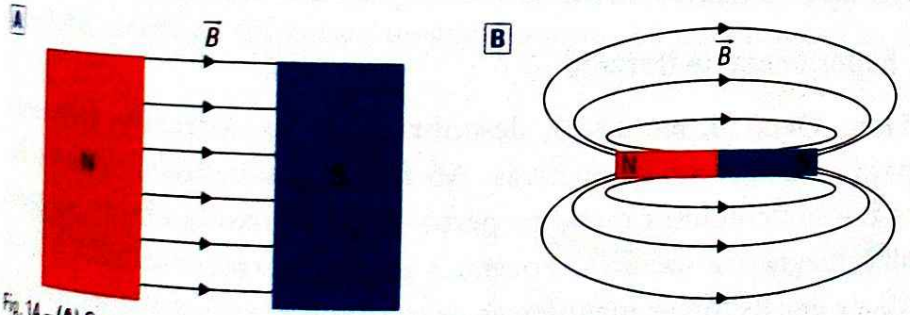


Fig. 14 – **(A)** Campo magnético uniforme; **(B)** campo magnético não uniforme.

1.3 Aplicação do campo magnético

A **bússola** é um instrumento de orientação utilizado na Terra para se encontrar uma determinada direcção.

É constituída por uma pequena agulha magnética de aço magnetizado, que pode rodar livremente, de modo a alinhar-se segundo um determinado campo magnético.

Verifica-se que a agulha magnética roda de forma que o seu pólo norte aponte para o pólo sul do campo magnético cuja direcção se quer conhecer.

Fig. 15 – Bússola.

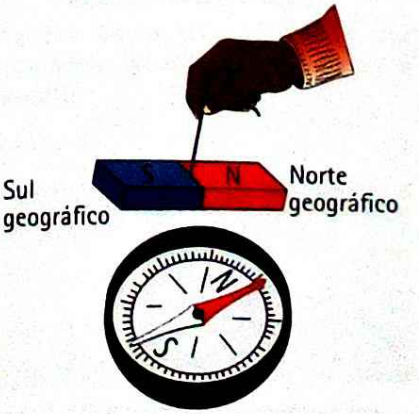


Fig. 16 – Um íman suspenso comporta-se como uma bússola.

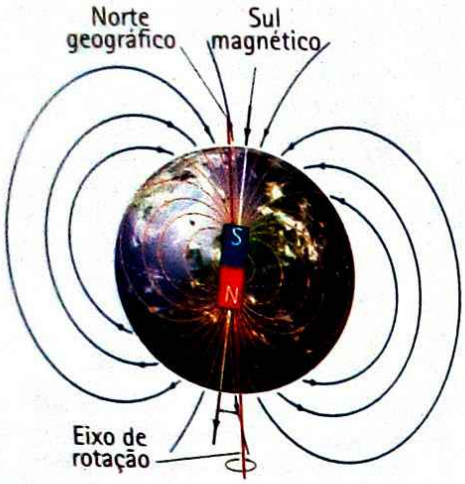


Fig. 17 – A Terra funciona como um íman permanente.

A agulha magnética de uma bússola roda de modo que o seu pólo norte aponte para o pólo sul do campo magnético terrestre, que fica próximo do Pólo Norte geográfico.

Tal como os ímanes, a Terra também produz um campo magnético em seu redor e possui um pólo norte magnético e um pólo sul magnético. Diz-se que a Terra se comporta como um íman gigante.

A agulha magnética da bússola aponta o seu pólo norte para perto do Pólo Norte geográfico. Uma vez que pólos magnéticos diferentes se atraem, o pólo norte de uma agulha magnética aponta para o pólo sul do campo magnético terrestre. É por este motivo que se diz que a agulha da bússola indica sempre o norte.

A agulha magnética de uma bússola colocada fora da acção de um íman ou de uma corrente eléctrica aponta sempre o seu norte magnético para o sul magnético terrestre. Mas, se aproximarmos um íman, ela roda tomando a orientação do campo magnético criado pelo íman.

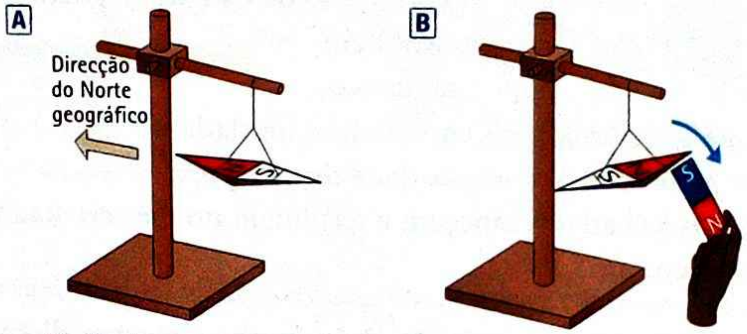


Fig. 18 – Interacção magnética entre uma agulha magnética e um íman.

2. Campos magnéticos criados por correntes eléctricas

2.1. Experiência de Oersted

Fig. 19 – Hans Oersted, físico e químico dinamarquês (1777-1851).

Hans Oersted, em 1820, descobriu que as correntes eléctricas tinham propriedades magnéticas. Ao fazer passar uma corrente eléctrica por um condutor metálico perto de uma bússola observou que a agulha magnética oscilava. Porém, a grande surpresa de Oersted foi verificar que as forças magnéticas exercidas nas extremidades da agulha tinham direcção perpendicular à da corrente eléctrica.

A descoberta de Hans Oersted, feita por acaso numa sala de aula enquanto preparava uma actividade para os seus alunos, permitiu concluir que uma corrente eléctrica produz um campo magnético.

Fig. 20 – Experiência de Oersted.

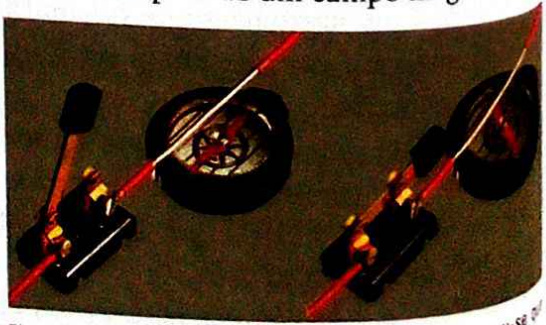


Fig. 21 – Através da experiência de Oersted provou-se que uma corrente eléctrica produz um campo magnético.

Cargas eléctricas criam campos magnéticos.

Assim, podemos afirmar que **cargas eléctricas em movimento são fontes de campos magnéticos.**

As linhas de campo criadas por um fio condutor atravessado por corrente eléctrica são circunferências centradas no fio, o que pode ser verificado pela ordenação das partículas colocadas num plano perpendicular ao fio condutor (Fig. 22).

Um campo magnético criado por um íman não se distingue de um campo magnético criado por uma corrente eléctrica. As formas dos campos dependem das características dos ímanes ou dos fios condutores por onde passa a corrente eléctrica.

Uma regra para determinar o sentido das linhas de campo é a **regra da mão direita**. Se o polegar da mão direita tiver a orientação da corrente eléctrica, os outros dedos da mão encurvam, indicando o sentido do campo magnético (Fig. 23).

Fig. 22 – Campo magnético criado por um fio percorrido por corrente eléctrica.

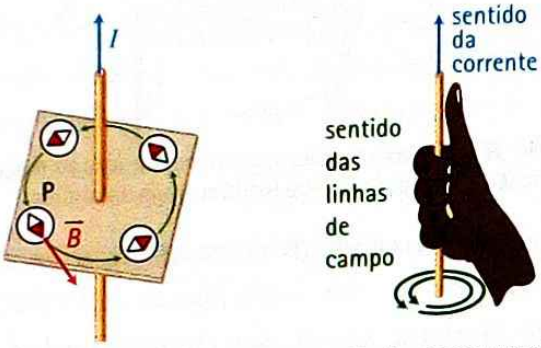


Fig. 23 – Regra da mão direita e orientação do campo magnético.

Oersted concluiu ainda que **se o sentido da corrente eléctrica for invertido, o sentido do campo magnético passa a ser contrário** (Fig. 24).

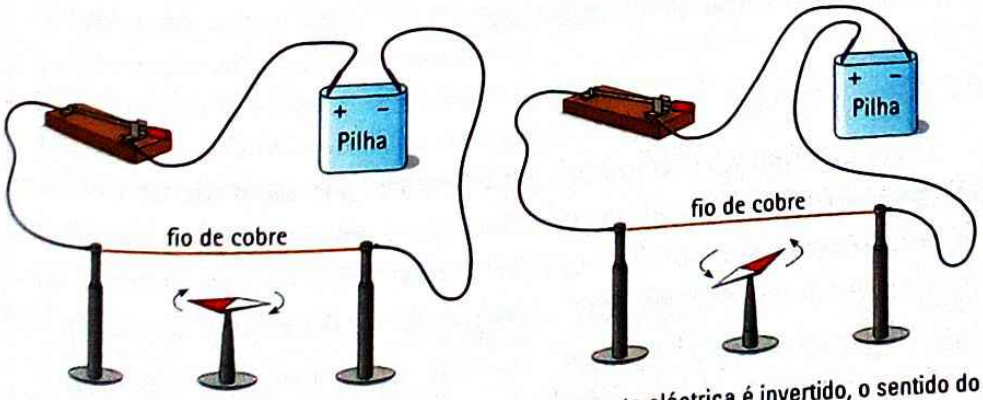


Fig. 24 – Experiência de Oersted – quando o sentido da corrente eléctrica é invertido, o sentido do campo magnético também é invertido.

Fig. 25 – Campo magnético criado por uma espira atravessada por corrente eléctrica.

Além disso, Oersted verificou que **quanto maior for a intensidade da corrente eléctrica mais intenso é o campo magnético criado e vice-versa.**

Se a corrente eléctrica passar por uma espira, obtemos um espectro magnético semelhante ao da figura 25. No centro da espira, o vector campo magnético é perpendicular ao plano que contém a espira.

Se enrolarmos um fio condutor em espiral, de tal forma que o enrolamento se efectue sempre no mesmo sentido, obtemos aquilo a que se chama um **solenóide** (Fig. 26).

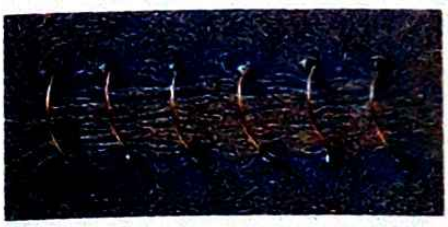


Fig. 26 – Campo magnético criado por um solenóide atravessado por corrente eléctrica.

O número de espiras de um solenóide pode variar desde 1 até um número muito elevado, por exemplo, 10 000. Se o enrolamento for feito de forma compacta, obtemos uma **bobina**. O fio condutor utilizado no enrolamento tem um revestimento isolante, de plástico ou de verniz.

Quando o solenóide é atravessado por uma corrente eléctrica cria-se uma força magnética no seu interior e pólos magnéticos nas suas extremidades. Estes pólos dependem do sentido do movimento da corrente eléctrica. O sentido da corrente eléctrica determina o sentido da força magnética e a localização dos pólos magnéticos.

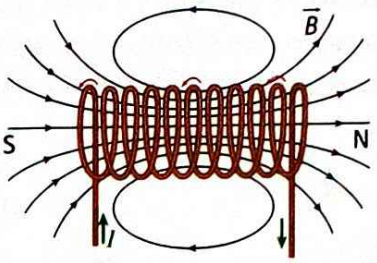


Fig. 27 – Representação esquemática do campo magnético criado por corrente eléctrica num solenóide.

Quanto maior é a intensidade da corrente eléctrica, maior é a intensidade da força magnética.

Os solenóides podem, assim, ser denominados de ímanes não naturais, com um elevado número de aplicações.

O campo magnético no interior de um solenóide é uniforme.

Observando as linhas de campo do solenóide, verifica-se que **no seu interior o campo magnético é uniforme, as linhas de campo são paralelas e estão à mesma distância umas das outras.**

O espectro de um solenóide é idêntico ao de um íman em barra, por isso tem o nome de **electroíman**.

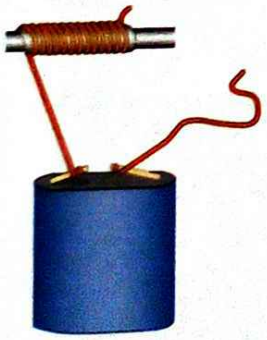


Fig. 28 – Electroíman.

2.2. Electroíman

Os electroímanes são ímanes gerados pela passagem de uma corrente eléctrica cujo princípio de funcionamento é muito simples. Um **electroíman** é constituído por um núcleo central feito de um material apropriado (geralmente ferro), um enrolamento de fio à volta do núcleo central, onde a corrente eléctrica irá circular, e por uma fonte de energia.

Sempre que o circuito é fechado, existe circulação de corrente eléctrica, o que faz com que o núcleo funcione como um íman, atraindo objectos metálicos. Quando o circuito é desligado, os objectos atraídos pelo núcleo caem, já que este deixa de ter propriedades magnéticas.

Quanto maior for o número de voltas dadas pelo fio em torno do núcleo, maiores serão a força e o número de objectos metálicos que o electroíman consegue atrair.

A vantagem, face a um íman vulgar, é que num electroíman podemos controlar a intensidade do campo magnético criado, bem como suspendê-lo sempre que desejado, bastando para isso interromper a passagem da corrente.

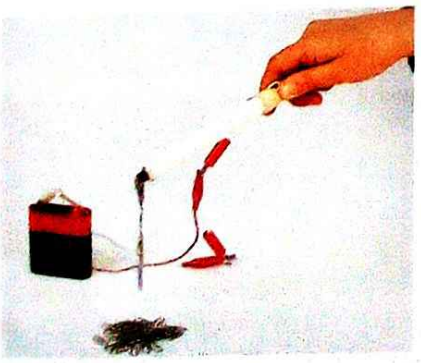


Fig. 29 – Electroíman a atrair clipes.

2.3. Aplicações dos electroímanes

Uma aplicação muito comum dos electroímanes é nos **guindastes electromagnéticos**. O operário que manobra o guindaste pode, ao ligar e desligar a passagem de corrente por um poderoso electroíman, remover objectos magnetizáveis de um lado para o outro. São frequentemente utilizados nos depósitos de lixo metálico.

Fig. 30 – Aplicação de um electroíman num guindaste.

A magnetização e desmagnetização quase espontânea do núcleo do electroíman quando se estabelece ou interrompe a corrente eléctrica permite numerosas aplicações.

Os **disjuntores** são um dos exemplos dessas aplicações. São dispositivos de segurança das instalações eléctricas que funcionam automaticamente.

Fig. 31 – Disjuntor.

Um disjuntor é constituído por um electroíman que desliga automaticamente a corrente eléctrica quando esta atinge valores de intensidade superiores aos permitidos. Para voltar a restabelecer a corrente eléctrica basta voltar a ligar o disjuntor, pois estes funcionam como interruptores.

Os electroímanes são ainda utilizados em motores, telefones, altifalantes, galvanómetros, campainhas, etc.

RESUMINDO...

Os **ímanes** ou **magnetes** são materiais que têm a propriedade de atrair outros materiais, como o ferro, o cobalto e o níquel.

Existem **ímanes naturais** e **ímanes artificiais**.

Todos os ímanes são formados por dois pólos: o **pólo norte magnético** e o **pólo sul magnético**.

As **interacções entre ímanes** traduzem-se por atracções e repulsões magnéticas:

– pólos magnéticos diferentes atraem-se; – pólos magnéticos iguais repelem-se.

A Terra comporta-se como se tivesse um grande íman no seu interior.

Ao pólo norte magnético da Terra corresponde o Sul geográfico e vice-versa.

Os ímanes criam **campos magnéticos**.

Um **campo magnético** existe numa região do espaço onde se fazem sentir as acções magnéticas.

Um campo magnético é uma **grandeza vectorial**. O campo magnético representa-se por $\vec{B}$ e a sua unidade no SI é o **tesla** (T).

O campo magnético produz **linhas de campo magnético**, que são linhas imaginárias tangentes ao campo, com o mesmo sentido e direcção deste. São sempre **fechadas**, saindo do pólo norte e entrando no pólo sul, e **nunca se cruzam**.

Quanto **maior a intensidade de um campo magnético maior é a densidade das linhas de campo**, ou seja, maior é o número de linhas de campo por unidade de área.

A passagem da corrente eléctrica num circuito produz um efeito magnético que pode ser detectado com uma agulha magnética.

O desvio produzido na agulha magnética depende do sentido da corrente e é tanto maior quanto mais intensa for a corrente, maior for o comprimento do fio condutor e menor for a distância entre o fio condutor e a agulha magnética.

Fios condutores percorridos por cargas eléctricas em movimento criam campos magnéticos.

Quanto **maior** for a **intensidade da corrente** que passa num condutor, **mais forte será o campo magnético** por ele produzido e vice-versa.

Um **electroíman** é um íman gerado pela passagem de corrente eléctrica, constituído por um núcleo central feito de um material apropriado (geralmente ferro) e um enrolamento de fio à sua volta.

Quanto maior for a intensidade de corrente que percorre o electroíman, maior a capacidade deste para atrair objectos metálicos.

JÁ SEI...

Copia para o teu caderno e completa as frases com as seguintes palavras-chave:

electroíman | **corrente eléctrica** | **materiais magnéticos** | **pólo norte** | **pólo sul** | **direcção** | **campo magnético** | **bússola** | **intensidade** | **vectorial** | **linhas**

- Um íman tem dois pólos: o _____ e o _____.
- A magnetite e a limalha de ferro são exemplos de _____.
- O _____ é a região do espaço em que se manifestam os efeitos magnéticos.
- O campo magnético é uma grandeza _____.
- As _____ de campo magnético são linhas imaginárias fechadas que representam a _____ e a _____ do campo magnético.
- Uma _____ também produz efeitos magnéticos.
- A _____ é um instrumento de orientação.
- Um _____ é constituído por uma bobina de fio condutor que tem, no interior, um núcleo metálico.

SABIAS QUE...

COMBOIOS QUE LEVITAM

Os comboios de levitação magnética, ao contrário dos habituais comboios, não têm rodas, eixos, transmissão e linhas aéreas. As rodas e os carris da via-férrea são substituídos por um sistema electromagnético capaz de suportar o peso do comboio sem qualquer contacto físico. Eles não rodam, flutuam!

A levitação por repulsão magnética é principalmente utilizada nos protótipos japoneses e baseia-se na utilização de bobinas supercondutoras capazes de criar fortes campos magnéticos. Estas bobinas localizadas no interior do comboio (tendo uma refrigeração especial) induzem nas bobinas encontradas nos trilhos uma corrente eléctrica, que, por sua vez, gera um campo magnético induzido e contrário ao que lhe foi aplicado, proporcionando assim a levitação do comboio pela força de repulsão magnética, entre o trilho e a bobina supercondutora.

O seu alto custo tem limitado a sua larga utilização.

Comboio de levitação magnética.

ACTIVIDADE EXPERIMENTAL N.º 1 (TRABALHO EM GRUPO)

Determinação do campo magnético na vizinhança de um íman

Material necessário: Folha A_3, íman, agulha magnética ou bússola pequena.

Modo de proceder:

1. Colocar o íman sobre a parte central da folha de papel de formato A_3.
2. Desenhar o contorno do íman.
3. Marcar na folha 10 pontos que estejam distribuídos à volta do íman, aproximadamente a 5 cm da sua periferia.
4. Marcar na folha de papel outros 10 pontos que estejam distribuídos à volta do íman, aproximadamente a 10 cm da sua periferia.

Observações e conclusões:

- Representa o campo magnético em cada ponto que marcaste com o auxílio de uma agulha magnética ou de uma bússola.
- Faz um esboço das linhas do espectro magnético na vizinhança do íman.
- O que concluis?

ACTIVIDADE EXPERIMENTAL N.º 2 (TRABALHO EM GRUPO)

Efeito magnético da corrente eléctrica

Material necessário: Pilha de 6 V, lâmpada de 3 W (ou inferior), interruptor, fios de ligação, crocodilos, agulha magnética.

Modo de proceder:

1. Instalar o circuito eléctrico de modo que a lâmpada acenda.
2. Abrir o interruptor e colocar a agulha magnética alinhada com o circuito.
3. Fechar o interruptor e observar o que acontece à agulha magnética.
4. Inverter as ligações na pilha (trocando os fios nos pólos) e repetir o ponto 3.

Observações e conclusões:

- Descreve o que observaste.
- O que podes concluir sobre o desvio da agulha magnética quando se inverte a polaridade das ligações na pilha?
- Esta experiência marca o início do estudo do electromagnetismo. Porquê?

ACTIVIDADE EXPERIMENTAL N.º 3 (TRABALHO EM GRUPO)

Electroíman

Material necessário: Pilha, 2 pregos de ferro grandes, fio de cobre, clipes, mesa.

Modo de proceder:

1. Revestir um dos pregos com o fio de cobre, deixando em cada lado do prego duas pontas soltas.
2. Distribuir alguns clipes sobre a mesa.
3. Ligar cada uma das pontas soltas a cada um dos pólos da pilha e aproximar dos clipes.
4. Revestir o outro prego com mais voltas do que o anterior.
5. Repetir as etapas acima descritas.

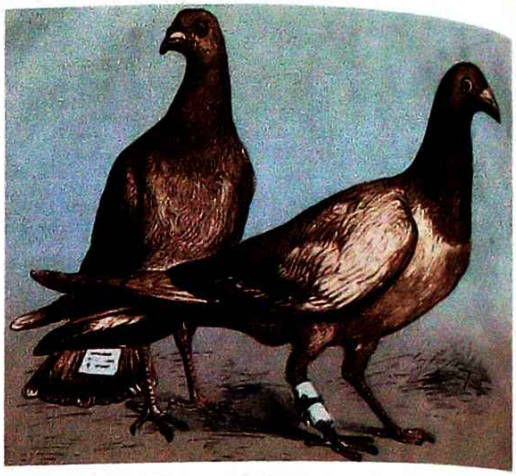
Observações e conclusões:

- O que concluis?

EU DISCUTO...

COM A BÚSSOLA NO BICO

Sensibilização ao tema:



A **columbofilia** é uma modalidade desportiva que tem como objectivo a corrida entre **pombos-correios**. Os **columbófilos** – criadores de pombos-correios – treinam o desenvolvimento das suas capacidades físicas e de orientação, para que participem em campeonatos.

Os pombos-correios são capazes de atingir velocidades de 87 km/h até 102 km/h, chegando a percorrer distâncias que podem rondar os 1200 km por dia.

O pombo-correio actual é o fruto de cruzamentos de algumas raças belgas e inglesas, efectuadas na segunda metade do século XIX. Esse padrão de pombo foi continuamente seleccionado a fim de apurar duas características principais: a capacidade de orientação e o porte atlético.

Os egípcios e os persas foram os primeiros a utilizar pombos-correios, à cerca de 3000 anos atrás. Em 1860, Paul Reuter, fundador da agência noticiosa Reuters, utilizou 45 pombos-correios para comunicar entre Bruxelas (Bélgica) e Aachen (Alemanha).

A notícia do desfecho da famosa batalha de Waterloo, a 18 de Junho de 1815 em Waterloo, Bélgica (combate decisivo entre as forças francesas e as britânicas, que ocorreu durante o Governo dos Cem Dias de Napoleão, entre o exército deste e o exército aliado, comandado pelo britânico Arthur Wellesley, Duque de Wellington, com unidades britânicas, neerlandesas, belgas e alemãs, ao qual se juntaram reforços vindos da Prússia) chegou a Inglaterra através de um pombo-correio.

Hoje em dia, os pombos-correios, devido às novas tecnologias de comunicação, já não são utilizados como instrumentos de trabalho. Contudo, em termos desportivos, a columbofilia é uma modalidade bastante apreciada em todo o Mundo, fazendo com que os pombos-correios não estejam em vias de extinção.

Os pombos-correios orientam-se graças ao campo magnético da Terra e não ao seu olfacto, indica um estudo divulgado pela revista Nature, *que chama a atenção para a existência de magnetite nos seus bicos.*

Na sua perspectiva, esse íman natural permite-lhes ter uma percepção magnética dos percursos e cobrir grandes distâncias sem se perderem, regressando depois ao ponto de partida.

Mas esta explicação magnética das aptidões particulares dos pombos-correios é contestada por alguns peritos que atribuem a orientação destes pássaros a certos cheiros que vão encontrando na atmosfera.

No seu trabalho de investigação, a equipa do Prof. Cordula Mora, da Universidade da Carolina do Norte em Chapel Hill, conseguiu provar que os pombos são sensíveis às perturbações do campo magnético da Terra.

Numa experiência, os pombos-correios foram inseridos num túnel de madeira com uma bobina eléctrica deslocável na sua parede externa. Os pássaros aprenderam a dirigir-se para uma das saídas do túnel se o campo magnético era perturbado e para o outro no caso contrário.

Porém, para terem certeza de que haviam chegado à conclusão certa, os pesquisadores fizeram ainda outras experiências. Numa delas colocaram ímanes no bico superior dos pombos para saber se haveria alguma interferência na capacidade de orientação das aves. Resultado: os animais tiveram as suas capacidades prejudicadas.

Lusa, 4 de Dezembro de 2004

Discussão:

Face ao texto apresentado, debate com os teus colegas e professor e responde às seguintes questões:

- Porque é que os pombos-correios são referidos no texto como "bússolas"?
- Descreve como foi testada a sensibilidade a um campo magnético pelos pombos-correios.
- Como se designa a substância responsável pela capacidade de orientação destes animais?

Aplico

1. De entre os materiais a seguir indicados, selecciona os que são atraídos por ímanes.

moeda de ferro **pedaço de vidro** **fio de cobre** **rolo de lã** **clipe de aço**

2. Selecciona a alternativa correcta que completa a frase.
Quando se secciona um íman em barra a meio, resultam duas partes...

(A) ... que se desmagnetizam mutuamente.

(B) ... em que uma representa apenas o pólo norte e a outra o pólo sul das extremidades iniciais.

(C) ... nas quais surgem, na secção de corte, pólos iguais e contrários aos das respectivas extremidades.

(D) ... nas quais surgem, na secção de corte, pólos contrários e diferentes aos das respectivas extremidades.

3. Completa as seguintes frases de modo a torná-las cientificamente correctas usando as palavras-chave abaixo.

corrente eléctrica **interacções magnéticas** **campo magnético**

(A) Um fio de cobre rectilíneo comporta-se como um íman se for percorrido por uma _____.

(B) O campo magnético é uma grandeza física que caracteriza as _____.

(C) As linhas de campo permitem representar um _____.

(D) Na experiência de Oersted, verificou-se que a corrente eléctrica criou um _____.

4. Das seguintes afirmações indica as verdadeiras e as falsas e corrige as falsas.

(A) Os campos magnéticos são criados apenas por ímanes.

(B) As linhas de campo magnético são linhas abertas.

(C) O campo magnético é uma grandeza vectorial que caracteriza, em cada ponto, o campo magnético.

(D) As linhas de campo magnético são, em cada ponto, tangentes ao vector campo magnético e têm o sentido deste.

(E) Num campo magnético uniforme as linhas de campo são paralelas entre si e dirigidas do pólo sul para o pólo norte.

Resolução:

(A) Falsa. Os campos magnéticos são criados apenas por ímanes e correntes eléctricas.

(B) Falsa. As linhas de campo magnético são linhas fechadas.

(C) Verdadeira.

(D) Verdadeira.

(E) Falsa. Num campo magnético uniforme as linhas de campo são paralelas entre si e dirigidas do pólo norte para o pólo sul.

5. Lê atentamente o seguinte texto.

A Terra comporta-se como um íman gigante, com um pólo magnético sul (próximo do Pólo Norte da Terra) e um pólo magnético norte (próximo do Pólo Sul da Terra). Assim, quando nos queremos orientar utilizamos uma bússola, pois esta indica-nos o pólo magnético sul da Terra.

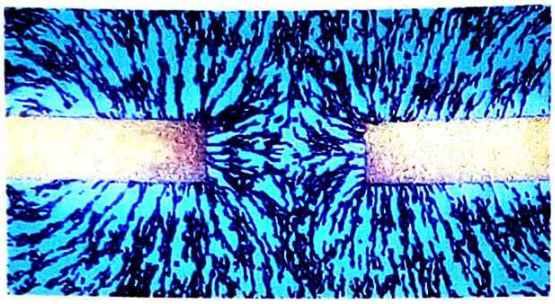
5.1. Junto de que pólo geográfico terrestre se encontra o pólo magnético sul da Terra?

5.2. Existe coincidência entre os pólos geográficos terrestres e os pólos magnéticos terrestres?

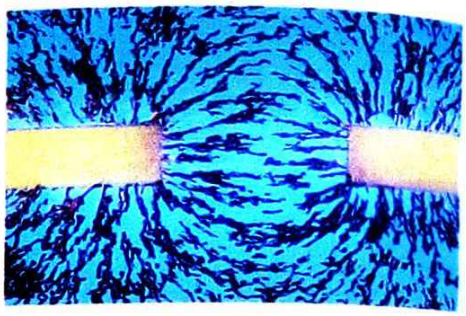
6. Explica o funcionamento de uma bússola, tendo em consideração o campo magnético terrestre.

7. Alinharam-se dois ímanes idênticos de duas maneiras diferentes. Numa delas, ficaram frente a frente dois pólos iguais, na outra ficaram frente a frente dois pólos diferentes. Na figura mostra-se como a limalha de ferro espalhada sobre uma placa de vidro colocada sobre os ímanes, se orientou em ambos os casos.

(A)

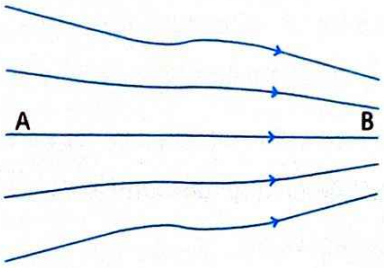


(B)



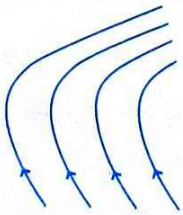
Indica, justificando, em qual das figuras **(A)** ou **(B)** estão colocados frente a frente pólos magnéticos diferentes.

8. Analisa a figura e indica a região, A ou B, onde o campo é mais intenso, justificando a tua escolha.

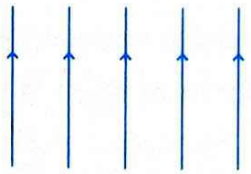


9. Das seguintes figuras, que representam linhas de campo magnético, indica, justificando, a(s) que corresponde(m) a um campo magnético uniforme.

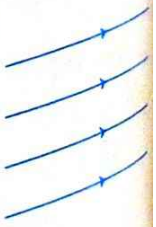
(A)



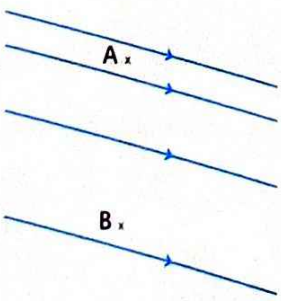
(B)

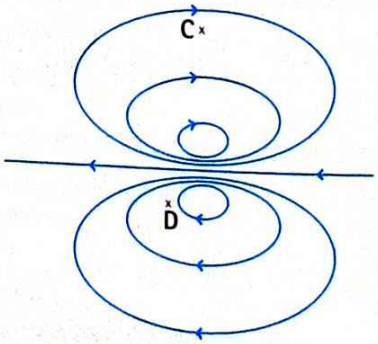


(C)



10. Marca o campo magnético nos pontos A, B, C e D.





11. Considera um fio condutor onde circula corrente eléctrica, colocado ao lado de uma agulha magnética.

11.1. O que acontece à agulha magnética? Porquê?

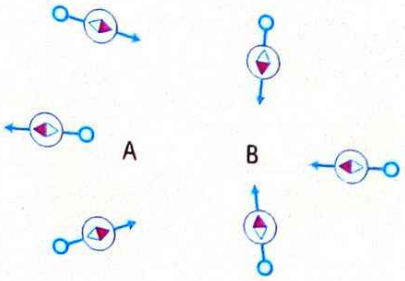
11.2. Quem descobriu primeiro esse efeito? Explica a importância desta descoberta.

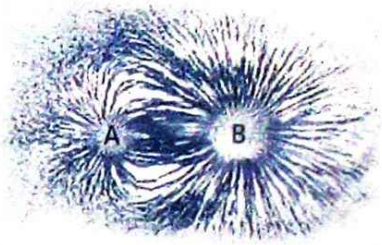
Resolução:

11.1. A agulha magnética oscila devido a forças magnéticas que se exercem sobre a agulha. O campo magnético tem origem na corrente eléctrica que circula no fio.

11.2. Hans Christian Oersted foi quem descobriu o efeito de correntes eléctricas. A relação entre campos eléctricos e magnéticos está na origem da produção industrial de electricidade.

12. As imagens da figura representam, respectivamente, várias agulhas magnéticas e limalha de ferro numa mesma região do espaço, na qual existe um campo magnético com dois pólos. A seta de cada uma das agulhas magnéticas corresponde ao seu pólo norte.





12.1. Explica por que razão não se pode afirmar que se tratam de pólos de um só íman, por exemplo, um íman em U.

12.2. Qual é o pólo mais intenso do campo magnético observado? Fundamenta a tua resposta.

12.3. Identifica os pólos A e B do campo com as letras N (norte) e/ou S (sul).

13. Um pequeno pedaço de ferro é colocado nas proximidades de um íman em barra.

Indica qual a opção correcta.

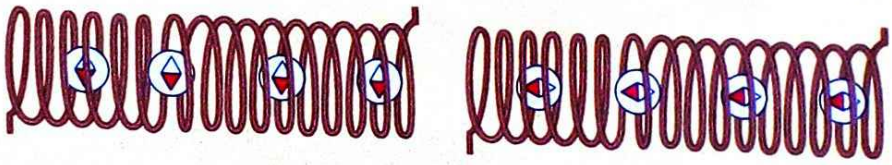
(A) A atracção do ferro pelo íman é maior que a atracção do íman pelo ferro.

(B) A atracção do íman pelo ferro é maior que a atracção do ferro pelo íman.

(C) A atracção do ferro pelo íman é igual à atracção do íman pelo ferro.

(D) Não existe atracção entre os dois objectos mas sim repulsão.

14. As imagens da figura representam um dispositivo eléctrico e algumas agulhas magnéticas em duas situações distintas, uma sem passagem de corrente eléctrica e outra com passagem de corrente eléctrica.



14.1. Como se denomina o dispositivo representado?

14.2. Em que condições é que este dispositivo é equivalente a um íman? Explica.

15. Explica o funcionamento de um electroíman.

16. Classifica as seguintes afirmações em verdadeiras ou falsas.

(A) Um electroíman tem um núcleo de material isolador no seu interior.

(B) Um movimento de um íman no interior de uma bobina gera uma corrente eléctrica.

(C) A passagem de corrente eléctrica num fio condutor não tem qualquer efeito sobre uma agulha magnética que se encontre nas suas proximidades.

(D) O movimento de um íman no interior de uma bobina gera uma corrente eléctrica, mas o movimento da bobina com o íman fixo não.

(E) Quando o íman se movimenta para dentro e para fora da bobina, a corrente induzida tem sempre o mesmo sentido.

17. Um prego de ferro com um fio de cobre enrolado pode funcionar como electroíman.

17.1. Descreve o que acontece se aproximares pequenos objectos metálicos da extremidade do prego quando abres e fechas, alternadamente, o interruptor.

17.2. O que é que acontece se aumentarmos o número de voltas do fio de cobre em torno do prego de ferro?

4 MOVIMENTO RECTILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO

Vou aprender

- A noção de movimento e repouso
- Os conceitos de referencial e trajectória
- A distinguir espaço percorrido de deslocamento
- Os conceitos de rapidez média, velocidade e aceleração
- A aplicar o significado físico da velocidade na resolução de exercícios

1. Movimento e repouso – Revisões

Quando estamos sentados no interior de um comboio, temos por vezes dúvidas se é o comboio em que estamos que se está a mover ou se foi um outro comboio que iniciou o seu movimento.

O conceito de movimento é relativo, já que depende do referencial escolhido.

Conclui-se, então, que os conceitos de **repouso** e de **movimento** são relativos. Assim, um corpo encontra-se em movimento se a sua posição mudar com o tempo em relação ao referencial escolhido e encontra-se em repouso se a sua posição permanecer constante em relação ao referencial.

Referencial – é um corpo de referência ou um sistema de corpos em relação ao qual se estuda o movimento de um corpo.

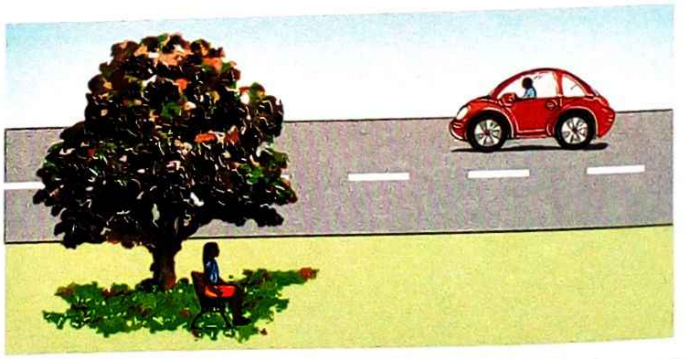


Fig. 1 – Se considerarmos o carro como referencial, o condutor está em repouso em relação ao carro. A árvore e a menina estão em movimento em relação ao carro.

Será, assim, fundamental definirmos um referencial antes de dizermos se um corpo se encontra em movimento ou em repouso.

Para caracterizar o movimento é necessário relembrar algumas grandezas físicas já aprendidas, tais como trajectória, espaço percorrido, deslocamento, velocidade, aceleração, entre outras.

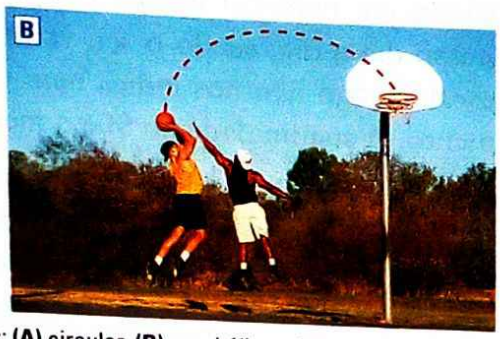
2. Grandezas físicas – Revisões

2.1. Trajectória, espaço percorrido e deslocamento

Sempre que um corpo se encontra em movimento este ocupa sucessivas posições no decorrer do tempo relativamente a um referencial, descrevendo uma **trajectória**. As trajectórias podem ser **rectilíneas** ou **curvilíneas**.

Nesta unidade iremos estudar somente as trajectórias rectilíneas.

Fig. 2 – Movimento de um carro segundo uma trajectória rectilínea.



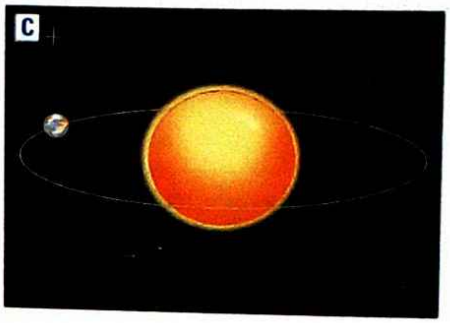


Fig. 3 – Movimentos com trajectórias curvilíneas: **(A)** circular, **(B)** parabólica e **(C)** elíptica.

O **espaço percorrido** (s) ou distância percorrida é o caminho ou percurso efectuado pelo corpo e corresponde ao comprimento da trajectória descrita durante o movimento. É uma grandeza escalar sempre positiva que depende da trajectória e a sua unidade no SI é o metro (m).

O **deslocamento** ($\Delta\vec{s}$) é um vector que tem origem na posição inicial do corpo e extremidade na posição final do corpo e o seu valor indica a distância medida em linha recta entre essas posições. É uma grandeza vectorial que não depende da trajectória e a sua unidade no SI é o metro (m).

Relembra que:

Grandezas escalares – ficam completamente definidas pelo seu valor numérico e respectiva unidade.

Grandezas vectoriais – ficam completamente definidas pelo seu valor numérico e respectiva unidade, direcção, sentido e ponto de aplicação.

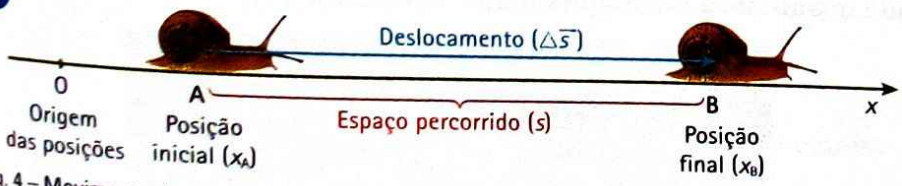


Fig. 4 – Movimento de um caracol segundo uma trajectória rectilínea sem inversão de sentido.

Quando a trajectória é rectilínea e não há inversão de sentido, o espaço percorrido e o deslocamento são iguais.

Se a trajectória for na horizontal, o valor do deslocamento pode ser traduzido pela variação de posição $\Delta s = x_B - x_A$.

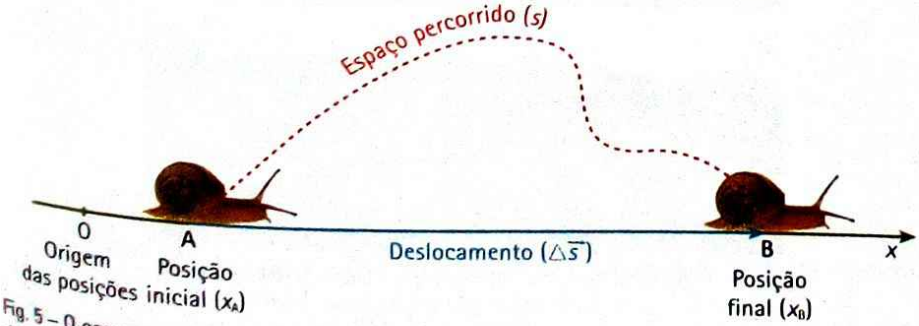


Fig. 5 – O espaço percorrido corresponde à trajectória, enquanto o deslocamento depende somente do ponto de partida e do ponto de chegada, ou seja, são duas grandezas físicas diferentes.

O deslocamento é nulo se as posições inicial e final coincidirem.

2.2. Rapidez média e velocidade média

Partindo do espaço percorrido podemos determinar a **rapidez média** (r_m) que se calcula a partir do quociente entre a distância percorrida (espaço percorrido) e o intervalo de tempo gasto para a percorrer.

$$r_m = \frac{s}{\Delta t} \qquad (4.1)$$

A rapidez média indica-nos se um determinado percurso foi efectuado em mais ou menos tempo. É a grandeza mais utilizada no nosso dia-a-dia, sendo o seu valor sempre positivo. É uma grandeza escalar, logo não nos indica nem o sentido nem a direcção do movimento. A sua unidade no SI é o metro por segundo (m/s).

Quando o espaço percorrido e o deslocamento são iguais o valor da rapidez média coincide com o da velocidade média.

A **velocidade média** ($\vec{v}_m$) é outra grandeza associada ao movimento. Determina-se a partir do quociente entre o deslocamento efectuado pelo corpo e o intervalo de tempo gasto a percorrê-lo.

$$\vec{v}_m = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} \qquad (4.2)$$

É uma grandeza vectorial que, para além da sua intensidade, permite-nos conhecer a direcção e o sentido do movimento do corpo.

- **A rapidez média é uma grandeza escalar.**
- **A velocidade média é uma grandeza vectorial.**

O seu valor, ao contrário da rapidez média, não depende da trajectória efectuada durante o movimento, depende somente da posição inicial e da posição final do corpo. Este pode ser positivo, negativo ou nulo. A sua unidade no SI é o metro por segundo (m/s).

2.3. Velocidade instantânea

A velocidade pode ser medida em cada instante, como acontece com os velocímetros dos carros. Neste caso referimo-nos à **velocidade instantânea** ou simplesmente **velocidade** ($\vec{v}$).

O vector velocidade, $\vec{v}$, tem sempre:
- **o sentido do movimento;**
- **a direcção:**
  - **da trajectória, se o movimento é rectilíneo;**
  - **tangente à trajectória em cada instante, se o movimento é curvilíneo.**

Fig. 6 – O vector $\vec{v}$ num movimento: **(A)** rectilíneo e **(B)** curvilíneo.

Também esta é uma grandeza vectorial, sempre tangente à trajectória em cada instante e com o sentido do movimento.

2.4. Aceleração média

Quando um corpo altera a sua velocidade ao longo do tempo dizemos que este sofre uma **aceleração**.

O valor da **aceleração média** ($\vec{a}_m$) indica-nos se um determinado corpo está a aumentar, a diminuir ou se mantém constante a velocidade durante o seu movimento.

A aceleração média calcula-se pelo quociente entre a variação da velocidade durante um determinado intervalo de tempo.

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \qquad (4.3)$$

É uma grandeza vectorial e a sua unidade no SI é o metro por segundo ao quadrado (m/s^2).

O valor da aceleração média pode ser positivo, negativo ou nulo:

- **Positivo**, quando o valor da velocidade do corpo aumenta em módulo.

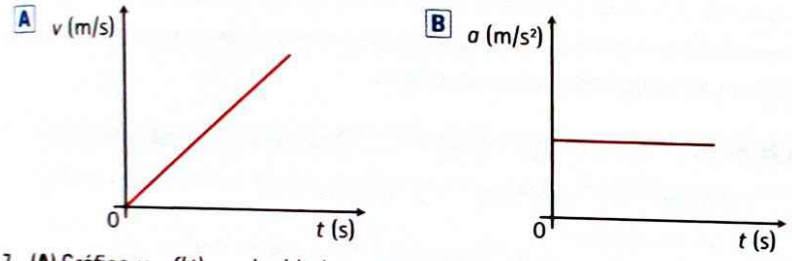


Fig. 7 – **(A)** Gráfico $v = f(t)$ – velocidade aumenta; **(B)** gráfico $a = f(t)$ – aceleração positiva.

- **Negativo**, quando o valor da velocidade do corpo diminui em módulo.

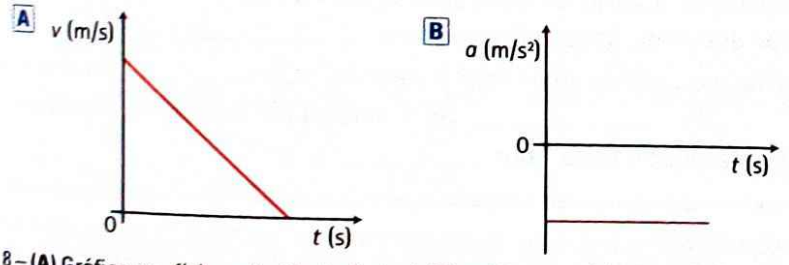


Fig. 8 – **(A)** Gráfico $v = f(t)$ – velocidade diminui; **(B)** gráfico $a = f(t)$ – aceleração negativa.

- **Nulo**, quando o valor da velocidade do corpo se mantém constante.

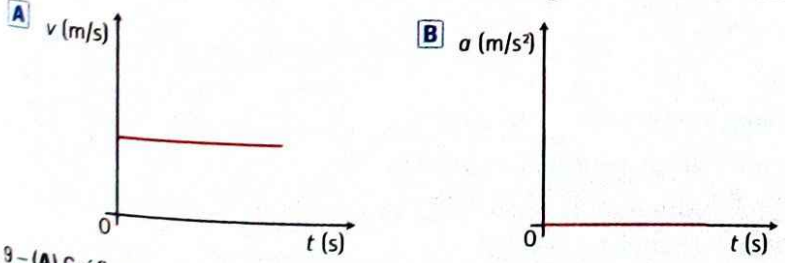


Fig. 9 – **(A)** Gráfico $v = f(t)$ – velocidade constante; **(B)** gráfico $a = f(t)$ – aceleração nula.

A aceleração média é uma grandeza vectorial que tem as mesmas características do vector variação da velocidade.

A **aceleração instantânea** ou simplesmente **aceleração** corresponde àquela que se mede em cada instante e representa-se somente por $\vec{a}$.

A aceleração média é uma grandeza vectorial, logo é caracterizada pelos seguintes elementos:

- **ponto de aplicação**
- **direcção**
- **sentido**
- **valor e respectiva unidade**

RESUMINDO...

Os conceitos de **movimento** e de **repouso** são relativos, dependem do **referencial** escolhido.

A **trajectória** é uma linha imaginária formada pelas sucessivas posições ocupadas por um corpo em movimento. De acordo com a trajectória, os movimentos podem ser **rectilíneos** ou **curvilíneos**.

A **distância percorrida** ou **espaço percorrido** (s) coincide com a trajectória efectuada pelo corpo. É uma grandeza escalar, cujo valor é sempre positivo e a unidade no SI é o metro (m).

O **deslocamento** ($\Delta\vec{s}$) de um corpo, entre dois pontos, não depende da trajectória descrita, só depende das posições inicial e final. É uma grandeza vectorial cuja unidade no SI é o metro (m).

O **deslocamento** é nulo se as posições inicial e final coincidirem. Se não houver inversão do sentido a distância percorrida coincide com o deslocamento.

A **rapidez média** (r_m) é o quociente entre a distância percorrida e o intervalo de tempo decorrido. É uma grandeza escalar cuja unidade no SI é o metro por segundo (m/s).

A **velocidade média** ($\vec{v}_m$) é o quociente entre o deslocamento efectuado e o intervalo de tempo decorrido. É uma grandeza vectorial cuja unidade no SI é o metro por segundo (m/s).

A **aceleração média** ($\vec{a}_m$) é o quociente entre a variação da velocidade média entre duas posições e o intervalo de tempo decorrido. É uma grandeza vectorial cuja unidade no SI é o metro por segundo ao quadrado (m/s^2).

JÁ SEI...

Copia para o teu caderno e completa as frases com as seguintes palavras-chave:

movimento | **escalar** | **velocidade média** | **aceleração média** | **negativo** | **referencial** | **rapidez média** | **nulo** | **positivo** | **vectorial**

- Antes de definirmos se um corpo se encontra em _____ ou em repouso é necessário definir um _____.
- A _____ de um movimento determina-se a partir do quociente entre o espaço percorrido num determinado movimento e o intervalo de tempo gasto em o percorrer, sendo por isso uma grandeza _____.
- A _____ de um movimento determina-se a partir do quociente entre o deslocamento efectuado num determinado movimento e o intervalo de tempo decorrido, sendo uma grandeza _____.
- Quando o valor da velocidade média varia no tempo pode-se determinar o valor da _____ do movimento, podendo esta apresentar valor _____ ou _____. Se a velocidade média for constante num determinado intervalo de tempo, a aceleração média apresenta valor _____.

ACTIVIDADE EXPERIMENTAL N.° 1 (TRABALHO EM GRUPO)

Rapidez média e velocidade

Material necessário: Giz, cronómetro, fita métrica.

Modo de proceder:

1. No pátio, marcar com o giz uma linha recta com, aproximadamente, 20 m.
2. Dividir o percurso em parcelas, ficando um aluno em cada uma das parcelas.
3. Proceder do seguinte modo: um aluno anda ao longo da trajectória enquanto os outros medem com um cronómetro o intervalo de tempo que ele demora a percorrer os 20 m.
4. Repetir o procedimento para uma pessoa a correr.

Observações e conclusões:

- Calcula a rapidez média em m/s e em km/h.
- Compara os valores obtidos, indicando qual o aluno mais rápido.

Aplico

1. Indica, entre as afirmações seguintes, as verdadeiras e as falsas.

(A) Um corpo está em repouso ou em movimento, independentemente do referencial escolhido.

(B) Um mesmo corpo pode estar em movimento em relação a um referencial e em repouso relativamente a outro referencial diferente.

(C) Para caracterizar a situação de repouso ou de movimento é necessário escolher, previamente, um sistema de referência.

(D) O planeta Terra é o referencial escolhido para definir o estado de repouso ou de movimento de um corpo.

2. A Matilda sai de casa e vai comprar pão à padaria, seguindo sempre em linha recta. Depois volta para casa fazendo exactamente o mesmo percurso.

Sabendo que a distância entre a casa da Matilda e a padaria é de 50 m, calcula:

2.1. a distância total percorrida pela Matilda;

2.2. o valor do deslocamento da Matilda quando vai desde casa até à padaria;

2.3. o valor do deslocamento total da Matilda.

3. Um ciclista percorreu 5,0 km em 10 min, com uma trajectória rectilínea.

3.1. Calcula o valor da velocidade média do ciclista, expresso em km/h.

3.2. Calcula o valor da velocidade média do ciclista em unidades SI.

3.3. Supondo que a sua velocidade média foi constante ao longo de toda a viagem, que distância tinha percorrido o ciclista ao fim de 7 min?

3.4. Se o ciclista mantiver a velocidade média, quanto tempo demorará a percorrer 45 km?

Resolução:

3.1. Sabendo que $\Delta x = 5{,}0$ km e $\Delta t = 10$ min, precisamos converter o tempo em horas.

1 h ——— 60 min

x h ——— 10 min $\qquad x = \dfrac{1 \times 10}{60} = 0{,}17$ h

Sabendo que: $v_m = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} \iff v_m = \dfrac{5}{0{,}17} \iff v_m = 29{,}4$ km/h

3.2. Para converter o resultado em unidades SI, basta aplicar os factores de conversão de km para m e de h para s. Assim:

$$v_m = \frac{29{,}4 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{29{,}4 \times 10^3 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 8{,}17 \text{ m/s}$$

3.3. $\Delta t = 7 \text{ min} = 7 \times 60 = 420$ s; $\Delta x = v_m \times \Delta t \iff \Delta x = 8{,}17 \times 420 = 3431$ m

3.4. $\Delta x = 45 \text{ km} = 45\,000$ m; $\Delta t = \dfrac{\Delta x}{v_m} \iff \Delta t = \dfrac{45\,000}{8{,}17} \iff \Delta t = 5508$ s

Atenção: Quando o movimento é rectilíneo e não há inversão de sentido o deslocamento coincide com a distância percorrida.

4. Um automóvel descreve uma trajectória rectilínea, passando pela posição A com uma velocidade média de valor 8 m/s e pela posição B com uma velocidade média de 13 m/s. Sabendo que ele demora 34 s até passar pela posição B, determina a sua aceleração média.

5. A Maria é atleta de alta competição de atletismo e encontra-se a treinar para participar nos próximos Jogos Olímpicos, na prova dos 100 metros.

Para avaliar o seu desempenho, o seu treinador recolheu os dados registados na seguinte tabela.

s/m	0	10	20	35	60	85
t/s	0	3	6	9	12	15

5.1. Indica a distância percorrida nos intervalos de tempo: [0, 6] s e [9, 15] s.

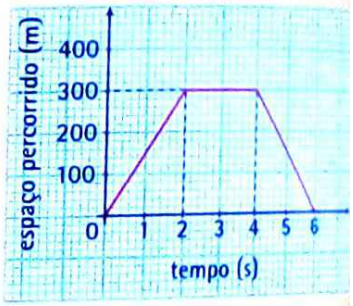
5.2. Calcula a rapidez média para cada intervalo de tempo referido na alínea anterior.

Resolução:

5.1. $[0, 6]\ \text{s} \Longrightarrow s = 20\ \text{m}$ $\quad [9, 15]\ \text{s} \Longrightarrow s = 85 - 35 = 50\ \text{m}$

5.2. $r_m = \dfrac{s}{\Delta t} \iff r_m = \dfrac{20}{6} = 3{,}3\ \text{m/s}$ $\quad r_m = \dfrac{s}{\Delta t} \iff r_m = \dfrac{50}{6} = 8{,}3\ \text{m/s}$

6. O João vai a casa do seu colega Pedro, que vive na mesma rua. Durante o percurso, descreve uma trajectória rectilínea com velocidade constante. O gráfico da figura traduz o espaço percorrido pelo João em função do tempo.



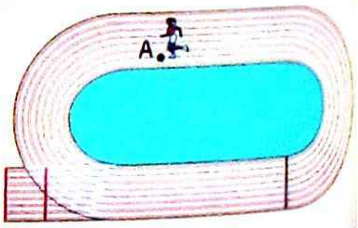
6.1. Quanto tempo demora o João a chegar a casa do Pedro?

6.2. Qual foi o espaço percorrido pelo João até chegar a casa do colega?

6.3. Durante quanto tempo esteve o João em casa do Pedro?

6.4. Calcula a rapidez média do João durante todo o percurso.

7. Duas atletas treinam numa pista de 400 m, semelhante à da figura ao lado.



A atleta 1 partiu de A e correu, em linha recta, 120 m em 20 s. Como se lesionou, abandonou o treino e voltou ao ponto de partida, fazendo o percurso inverso.

A atleta 2 partiu também de A ao mesmo tempo que a atleta 1, deu uma volta à pista e chegou novamente a A ao mesmo tempo que a atleta 1.

7.1. Qual foi o espaço percorrido pelas duas atletas?

7.2. Qual foi o deslocamento efectuado pelas duas atletas? Justifica.

7.3. Calcula a rapidez média da atleta 1 enquanto correu.

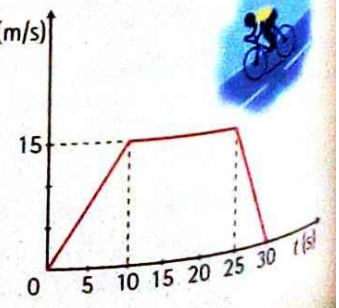
Resolução:

7.1. Atleta 1: $s_1 = 120 + 120 = 240\ \text{m}$; Atleta 2: $s_2 = 400\ \text{m}$

7.2. $\Delta_x = 0\ \text{m}$, porque voltam à posição inicial $\Longrightarrow x_f = x_i$.

7.3. $r_m = \dfrac{s}{\Delta t} \iff r_m = \dfrac{120}{20} = 6\ \text{m/s}$

8. O gráfico da figura ao lado refere-se ao movimento de um ciclista numa estrada rectilínea. Indica:



8.1. durante quanto tempo o ciclista aumentou a velocidade;

8.2. durante quanto tempo manteve a velocidade;

8.3. durante quanto tempo o ciclista travou;

8.4. o valor da aceleração média nos primeiros 10 s.

Normalmente, nas trajectórias horizontais escolhe-se para positivo o sentido da esquerda para a direita e nas trajectórias verticais considera-se positivo o sentido de baixo para cima. É importante realçar que esta escolha é arbitrária.

A partir de um gráfico posição-tempo podemos saber:

- a posição em cada instante;
- o sentido do movimento: positivo se a coordenada de posição aumentar ao longo do tempo e negativo se diminuir;
- a velocidade média entre dois quaisquer pontos, a partir dos valores da posição e do tempo correspondentes utilizando a fórmula:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

O gráfico posição-tempo é uma recta inclinada, que não tem de começar na origem.

Quando não há alteração do sentido do movimento, a distância percorrida é igual ao valor do deslocamento e, assim, a rapidez média é igual à velocidade média.

Outro tipo de gráfico muito útil é o **gráfico velocidade-tempo**. Este representa a variação da velocidade em função do tempo.

Para o exemplo do movimento considerado temos:

Tempo (s)	0	2	4	6
Velocidade (m/s)	10	10	10	10

A partir da tabela velocidade-tempo construímos o **gráfico velocidade-tempo:**

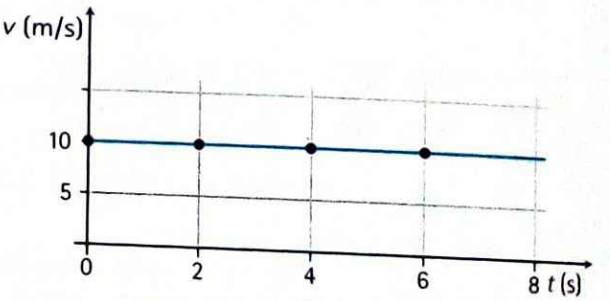


Fig. 11 – Gráfico velocidade-tempo para o M.R.U.

Neste movimento o gráfico velocidade-tempo é uma recta horizontal, pois o valor da velocidade é constante e a velocidade média é igual à velocidade instantânea.

A partir de um gráfico velocidade-tempo podemos saber:

- o valor algébrico da velocidade em cada instante;
- o sentido do movimento consoante o sinal do valor algébrico da velocidade;
- o espaço percorrido (ou o deslocamento) pelo cálculo da área geométrica formada entre o eixo do tempo e a linha que une os valores da velocidade. Para o cálculo do espaço percorrido a área é sempre positiva, quer esteja acima ou abaixo do eixo temporal. Para o cálculo do deslocamento consideram-se positivas as áreas que estão acima do eixo temporal e negativas as que estão abaixo dele (Fig. 12);

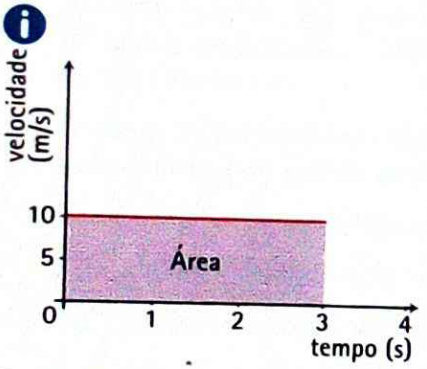


Fig. 12 – Calculando a área a sombreado, determinamos a distância percorrida pelo corpo em movimento rectilíneo uniforme.

No caso de um M.R.U., a área formada é um rectângulo, logo:

$$A_{\square} = v \times \Delta t = s$$

No exemplo da figura 12:

$$A_{\square} = 3 \times 10 = 30$$

Logo, $s = 30$ m e $\Delta s = 30$ m, porque não há inversão do sentido do movimento e o corpo desloca-se no sentido positivo da trajectória.

– a rapidez média, sabendo o espaço percorrido e o tempo;

$$r_m = \frac{s}{\Delta t}$$

– a velocidade média, sabendo o deslocamento e o tempo;

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

– a aceleração média entre dois quaisquer pontos a partir dos valores da velocidade e do tempo correspondentes.

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Como a velocidade é constante, a aceleração é nula. O **gráfico da aceleração-tempo** é uma recta que coincide com a origem do referencial.

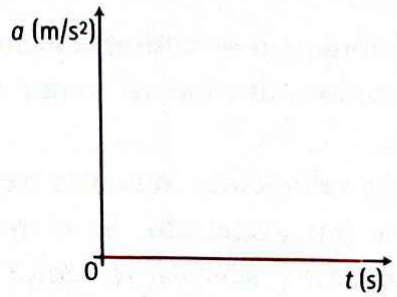


Fig. 13 – Gráfico aceleração-tempo para o M.R.U.

A partir de um gráfico aceleração-tempo podemos saber:

– o valor algébrico da aceleração em cada instante;

– o sentido da aceleração consoante o sinal do seu valor algébrico.

Podemos agora deduzir as duas leis do M.R.U.

Lei dos espaços (lei do movimento uniforme)

No movimento uniforme, o espaço percorrido é directamente proporcional ao intervalo de tempo gasto.

Lei das velocidades

No M.R.U. a velocidade permanece constante, não muda.

A partir das leis do M.R.U. podemos deduzir as equações matemáticas que nos permitem calcular directamente a posição em que um corpo móvel se encontra ou o espaço percorrido (distância percorrida) durante o movimento.

Equação das posições – dá-nos a posição ocupada pelo corpo móvel em função do tempo:

$$s(t) = s_0 + v\,t \qquad (4.4)$$

onde:

– s_0 é a posição inicial do corpo;

– s e t são a posição e o tempo no instante em estudo;

– v é a velocidade com que o corpo se está a mover.

Equação dos espaços – permite-nos calcular as distâncias percorridas em função do tempo.

Segundo a expressão matemática da velocidade, $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, vem:

$$\Delta s = v \Delta t \qquad (4.5)$$

A partir desta equação podemos calcular o espaço percorrido pelo corpo móvel em qualquer intervalo de tempo.

4. Movimento rectilíneo uniformemente variado (M.R.U.V.)

Os movimentos denominam-se uniformemente variados quando a velocidade varia de modo uniforme ao longo do tempo, ou seja, a aceleração é constante.

No M.R.U.A. a velocidade e a aceleração têm o mesmo sentido e a mesma direcção.

Quando o valor da velocidade aumenta ao longo do tempo, o movimento designa-se por **acelerado**. Se o movimento for rectilíneo, os vectores velocidade e aceleração têm a mesma direcção e o mesmo sentido.

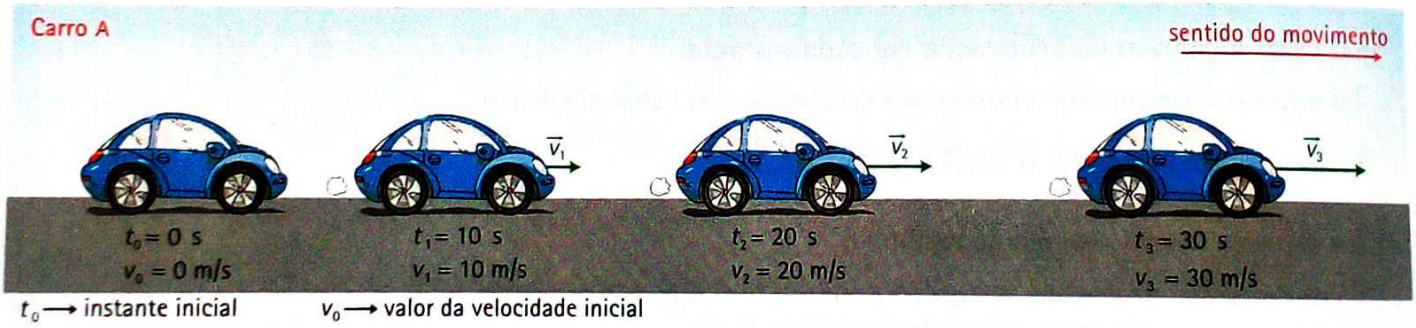


Fig. 14 – Velocidade adquirida pelo carro em diferentes instantes – o valor da velocidade aumenta de forma uniforme (M.R.U.A.).

No M.R.U.R. a velocidade e a aceleração têm o mesma direcção mas sentidos opostos.

Quando o valor da velocidade diminui ao longo do tempo, o movimento designa-se por **retardado**. Se o movimento for rectilíneo, os vectores velocidade e aceleração têm a mesma direcção mas sentidos opostos.

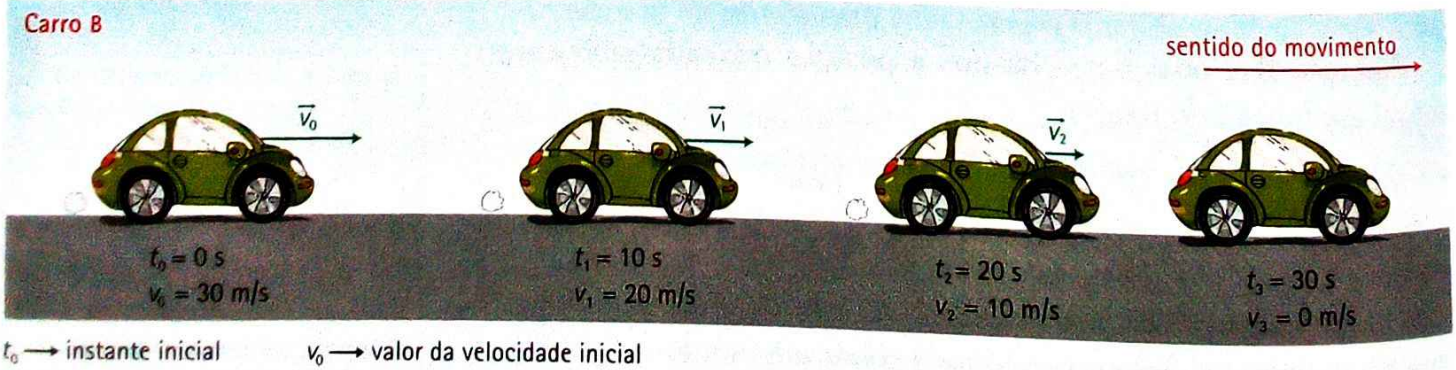


Fig. 15 – Velocidade adquirida pelo carro em diferentes instantes – o valor da velocidade diminui de forma uniforme (M.R.U.R.).

5. Leis e gráficos do movimento rectilíneo uniformemente variado (M.R.U.V.)

5.1. Movimento rectilíneo uniformemente acelerado (M.R.U.A.)

Quando um corpo descreve uma trajectória rectilínea, num determinado referencial, com a velocidade a aumentar uniformemente com o tempo, estamos perante um **movimento rectilíneo uniformemente acelerado**. Nesta situação, o movimento ocorre com aceleração constante.

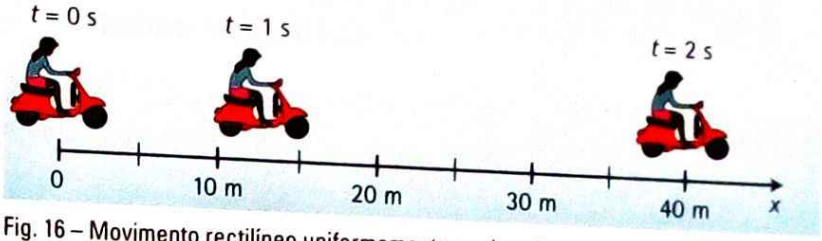


Fig. 16 – Movimento rectilíneo uniformemente acelerado.

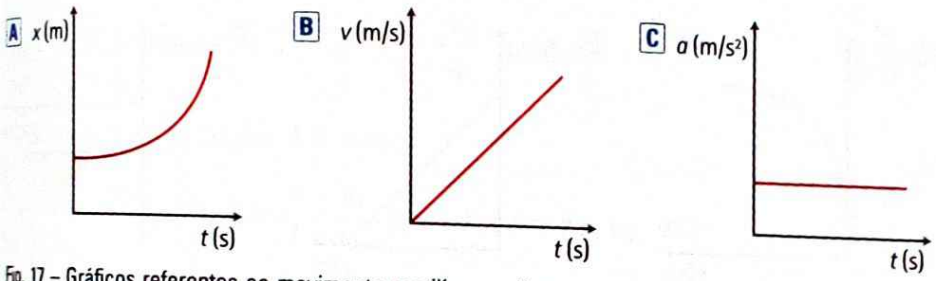


Fig. 17 – Gráficos referentes ao movimento rectilíneo uniformemente acelerado: **(A)** posição-tempo; **(B)** velocidade-tempo; **(C)** aceleração-tempo. O corpo está a deslocar-se no sentido positivo da trajectória.

Neste movimento o gráfico posição-tempo tem a forma de uma parábola.

O M.R.U.A. caracteriza-se pelo facto de a velocidade e a aceleração terem o mesmo sinal algébrico.

No exemplo apresentado, o movimento faz-se no sentido positivo da trajectória.

Vamos calcular a velocidade média entre o instante $t = 0$ s e $t = 2$ s:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \iff v_m = \frac{40 - 0}{2 - 0} \iff v_m = 20 \text{ m/s}$$

O gráfico velocidade-tempo tem a forma de uma recta, mas esta não tem de passar pela origem, bastando que no instante inicial a velocidade do corpo não seja nula. Quanto mais inclinada for a recta (maior declive), maior será a aceleração do movimento e vice-versa. Como o movimento se faz no sentido positivo, o valor da velocidade é positivo.

Para determinarmos a distância percorrida, calculamos a área da figura geométrica formada entre o eixo do tempo e o eixo da velocidade.

O gráfico aceleração-tempo é uma recta horizontal. Neste movimento o seu valor é sempre positivo.

Nos movimentos rectilíneos uniformemente acelerados o sinal algébrico da velocidade e da aceleração têm de ser iguais. Se o movimento ocorrer no sentido negativo e a aceleração e a velocidade tiverem o mesmo sinal algébrico, o movimento também se designa por M.R.U.A.

Para o cálculo da distância percorrida a área é sempre positiva, quer esteja acima ou abaixo do eixo do tempo, mas para calcular o deslocamento consideram-se positivas as áreas acima do eixo do tempo e negativas as áreas abaixo do eixo do tempo.

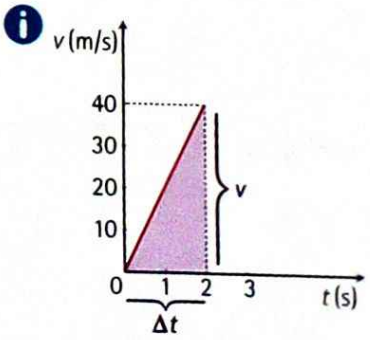


Fig. 18 – Calculando a área a sombreado, determinamos a distância percorrida pelo corpo em movimento rectilíneo uniformemente acelerado.

No caso de um M.R.U.A., a área formada é um triângulo, logo:

$$A_\triangle = \frac{\Delta t \times v}{2}$$

No exemplo da figura 18:

$$A_\triangle = \frac{2 \times 40}{2} = 40$$

Logo, $s = 40$ m e $\Delta s = 40$ m, porque não há inversão do sentido do movimento e o corpo desloca-se no sentido positivo da trajectória.

5.2. Movimento rectilíneo uniformemente retardado (M.R.U.R.)

Quando um corpo descreve uma trajectória rectilínea, num determinado referencial, com uma velocidade a diminuir uniformemente com o tempo, estamos perante um movimento **rectilíneo uniformemente retardado**. Nesta situação, o movimento também ocorre com aceleração constante.

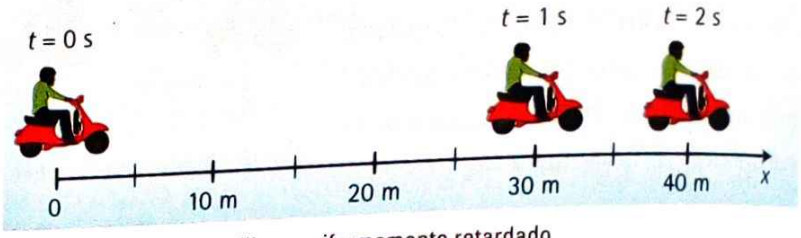


Fig. 19 – Movimento rectilíneo uniformemente retardado.

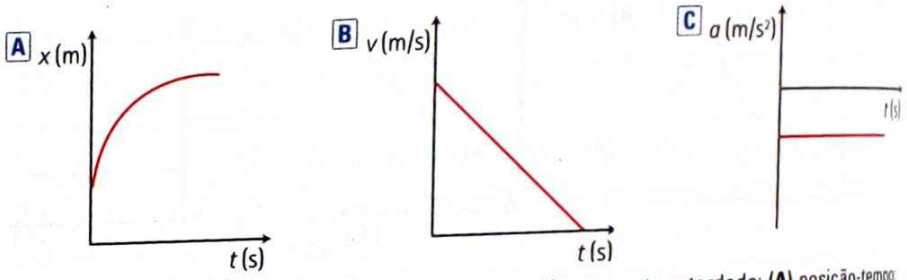


Fig. 20 – Gráficos referentes ao movimento rectilíneo uniformemente retardado: **(A)** posição-tempo; **(B)** velocidade-tempo; **(C)** aceleração-tempo. O corpo está a deslocar-se no sentido positivo da trajectória.

Neste movimento o gráfico posição-tempo também tem a forma de uma parábola.

Neste tipo de movimento a velocidade e a aceleração têm sinais contrários.

No exemplo apresentado, o movimento faz-se no sentido positivo da trajectória.

O gráfico velocidade-tempo é uma recta descendente, pois a velocidade está a diminuir ao longo do tempo. Se o movimento ocorrer no sentido positivo o valor da velocidade é positivo, se o movimento ocorrer no sentido negativo o seu valor será negativo. Quanto mais inclinada for a recta (maior declive), maior será a aceleração do movimento e vice-versa. Como o movimento se faz no sentido positivo, o valor da velocidade é positivo.

A distância percorrida pode ser determinada calculando a área do gráfico velocidade-tempo.

O gráfico aceleração-tempo é uma recta horizontal que se encontra, neste caso, abaixo do eixo do tempo porque a aceleração tem sinal algébrico negativo.

Nos movimentos rectilíneos uniformemente retardados o sinal algébrico da velocidade e da aceleração são contrários. Se o movimento ocorrer no sentido negativo, a velocidade terá sinal algébrico negativo e a aceleração sinal algébrico positivo.

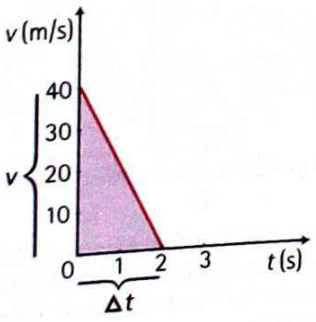


Fig. 21 – Calculando a área a sombreado, determinamos a distância percorrida pelo corpo em movimento rectilíneo uniformemente retardado.

No caso de um M.R.U.R., a área formada é, tal como no M.R.U.A., um triângulo, logo, no exemplo da figura 21:

$$A_{\triangle} = \frac{2 \times 40}{2} = 40$$

Logo, $s = 40$ m e $\Delta s = 40$ m, porque não há inversão do sentido do movimento e o corpo desloca-se no sentido positivo da trajectória.

6. Equações gerais do movimento rectilíneo uniformemente variado (M.R.U.V.)

Considere um referencial unidimensional, cujo eixo coincide com a direcção do movimento, e um corpo com movimento rectilíneo uniforme.

- Equação das velocidades

De acordo com a 2.ª Lei de Newton, para este movimento:

$$\vec{F}_R = \text{const.} \Longrightarrow \vec{a} = \text{const.}$$

O valor da aceleração no movimento rectilíneo pode ser determinado utilizando $\Delta v = v - v_0$:

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} \qquad (4.6)$$

Se $t_0 = 0$, a equação 4.6 fica:

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0} \Longrightarrow a \times t = v - v_0 \Longleftrightarrow$$

$$\Longleftrightarrow \boxed{v = v_0 + at} \qquad (4.7)$$

(equação das velocidades)

v – velocidade do corpo no instante t (m/s)

v_0 – velocidade inicial do corpo (m/s)

a – aceleração do corpo (m/s²)

- Equações das posições

A equação das velocidades evidencia uma relação linear entre a velocidade do corpo e o tempo. Esta relação pode verificar-se graficamente pelo gráfico da figura 22.

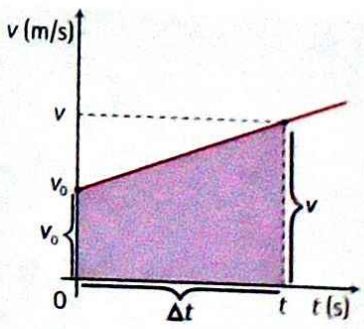


Fig. 22 – Gráfico velocidade-tempo.

Calculando a área sombreada do gráfico velocidade-tempo, determinamos o deslocamento (Δs) realizado pelo corpo.

Neste caso a área sombreada é um trapézio. Comecemos por relembrar a área de um trapézio:

$$A_{\text{trapézio}} = \frac{b + B}{2} \times h$$

onde:

- b é a base menor do trapézio, $b = v_0$;
- B é a base maior do trapézio, $B = v$;
- h é a altura do trapézio, $h = \Delta t$ (como $t_0 = 0$, $h = t$).

Assim, para o deslocamento temos:

$$\Delta s = \frac{v_0 + v}{2} \times t \qquad (4.8)$$

Como $v = v_0 + at$, substituindo na equação 4.8, temos:

$$\Delta s = \frac{v_0 + v_0 + at}{2} \times t = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\Delta s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad (4.9)$$

Como $\Delta s = s - s_0$, substituindo na equação 4.9 vem:

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad (4.10)$$

(equação das posições)

Resumindo:

Equações do M.R.U.A.	Equações do M.R.U.R.
Equação das velocidades	Equação das velocidades
$v = v_0 + at$	$v = v_0 - at$
Equação das posições	Equação das posições
$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$	$s = s_0 + v_0 t - \frac{1}{2} a t^2$

Fig. 23 – Pára-quedista em queda livre.

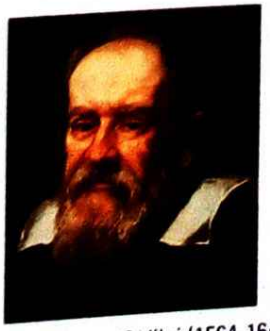


Fig. 24 – Galileu Galilei (1564-1642).

7. Movimento de queda livre

Quando um corpo é abandonado de uma certa altura, a atmosfera exerce sobre ele uma força de resistência que se soma à força gravítica (peso do corpo) exercida pela Terra. Quando a força de resistência do ar é pequena, se comparada com a força gravítica, pode ser desprezada quando se estuda o movimento do corpo.

Se os corpos ficarem apenas sujeitos à força gravítica designam-se por **graves** e encontram-se em **queda livre**, independentemente de estarem a ascender ou a cair.

Quando se despreza a resistência do ar, verifica-se que corpos largados da mesma altura chegam ao solo ao mesmo tempo, independentemente das suas massas.

Foi Galileu Galilei (Fig. 24) quem primeiro teve a percepção de que a resistência do ar afectava o movimento de queda dos corpos.

Desprezando a resistência do ar, os corpos variam a sua velocidade devido à força gravítica. A aceleração a que todos estão sujeitos é a aceleração da gravidade, cujo módulo, à superfície da Terra, é, aproximadamente, $g = 9{,}8\ m/s^2$. O seu valor numérico, determinado experimentalmente, varia com a altitude do lugar da Terra.

Todos os corpos em queda à superfície da Terra e não sujeitos à força da resistência do ar caem com a mesma aceleração porque o valor desta não depende da massa do grave (Fig. 25).

Na Lua, o valor da aceleração da gravidade é de 1,6 m/s², o que significa que os corpos caem mais lentamente do que na Terra.

Este tipo de movimento foi estudado por Galileu Galilei, que estabeleceu a seguinte lei:

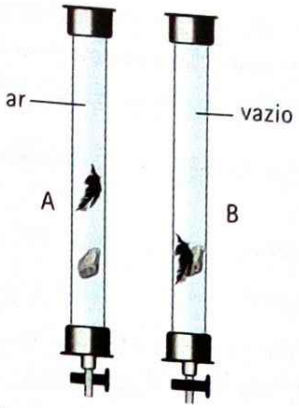


Fig. 25 – Quando a resistência do ar é desprezável (B), a pena e a pedra têm a mesma aceleração, a aceleração da gravidade, g.

Fig. 26 – Na Lua os corpos caem mais lentamente do que na Terra.

O movimento de queda livre é rectilíneo e uniformemente acelerado.

As equações do movimento de queda livre são semelhantes às equações do M.R.U.A., onde:

- a velocidade inicial é $v_0 = 0$ m/s, porque o corpo é largado;
- a aceleração com que o corpo cai é a aceleração da gravidade, $g = 9{,}8$ m/s².

As equações deste movimento são:

- Equação das velocidades

$$v = g\,t \qquad (4.11)$$

- Equação das posições

$$s = s_0 + \frac{1}{2} g t^2 \qquad (4.12)$$

RESUMINDO...

Num **movimento rectilíneo uniforme**, a **velocidade é constante**, sendo percorridas distâncias iguais em intervalos de tempo iguais.

Num **movimento rectilíneo uniformemente variado**, um corpo percorre distâncias diferentes em intervalos de tempo iguais.

Num **movimento rectilíneo uniformemente variado**, a variação da velocidade é directamente proporcional ao intervalo de tempo gasto.

Num **movimento rectilíneo uniformemente variado** a **aceleração** do corpo permanece **constante**.

Num **movimento rectilíneo uniformemente acelerado**, o valor da **velocidade aumenta uniformemente** ao longo do tempo.

Num **movimento rectilíneo uniformemente retardado**, o valor da **velocidade diminui uniformemente** ao longo do tempo.

O movimento de um corpo, abandonado no ar e sujeito apenas à atracção gravitacional da Terra, é designado por **grave** e está em **movimento de queda livre**, com $a = g = 9{,}8$ m/s².

Num dado local, a aceleração de queda livre é a mesma para todos os corpos.

O **movimento de queda livre** é um exemplo de um **movimento rectilíneo uniformemente acelerado**.

JÁ SEI...

Copia para o teu caderno e completa as frases com as seguintes palavras-chave:

gráficos **velocidade** **M.R.U.A.** **M.R.U.** **aceleração** **posição** **M.R.U.R.** **diminui** **M.R.U.A.**

- Um movimento cuja trajectória é rectilínea classifica-se como _____ se a velocidade se mantém constante.
- Os movimentos rectilíneos variados podem ser de dois tipos: _____ ou _____.
- No movimento rectilíneo uniformemente acelerado a _____ aumenta linearmente com o tempo e no movimento rectilíneo uniformemente retardado a velocidade _____ linearmente com o tempo. Em ambos os casos o valor da _____ permanece constante.
- O movimento de queda livre é um caso particular do _____.
- As variações da _____ e dos valores da velocidade e da aceleração com o tempo podem ser representados sob a forma de _____.

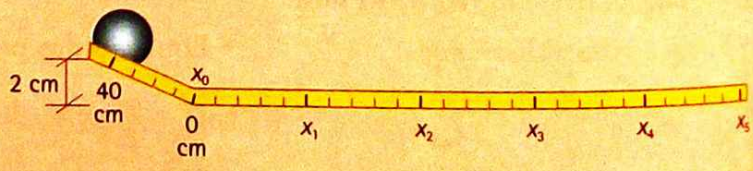
ACTIVIDADE EXPERIMENTAL N.º 2 (TRABALHO EM GRUPO)

Cálculo da velocidade de um corpo em movimento rectilíneo uniforme devido à acção de uma força resultante nula

Material necessário: Pequena esfera de aço, calço de madeira com 2 cm de altura, fita métrica, caneta de feltro, cronómetro, 2 calhas metálicas de 50 cm e 250 cm de comprimento, respectivamente.

Modo de proceder:

1. Colocar a calha de maior comprimento sobre a bancada de trabalho e marcar com a caneta as posições x_0 (0 cm), x_1, x_2, x_3, x_4 e x_5 que poderá ser no final da calha. Marcar também na calha mais pequena um ponto que diste 40 cm de x_0.



2. Bem ajustada à primeira, colocar a calha de menor comprimento, de modo que a outra extremidade fique apoiada sobre o calço de madeira.
3. Segurar a esfera sobre a calha inclinada no ponto assinalado (40 cm) e soltá-la. A esfera rolará e quando chegar a x_0 ligar o cronómetro e desligá-lo quando a esfera atingir a posição x_1.
4. Repetir a experiência colocando a esfera exactamente no mesmo sítio, mas agora desligar o cronómetro só quando esta atingir a posição x_2.
5. Tornar a repetir os procedimentos anteriores para as restantes posições. Anotar os valores obtidos num quadro idêntico ao apresentado ao lado.
6. Repetir a experiência, se assim o desejar, deixando a esfera rolar desde mais acima ou mais abaixo na calha.

$d = x_f - x_i$ (cm)	Δt (s)	$v_m = \frac{d}{\Delta t}$ (cm/s)
$x_1 - x_0 =$		
$x_2 - x_0 =$		
$x_3 - x_0 =$		
$x_4 - x_0 =$		
$x_5 - x_0 =$		

Observações e conclusões:

- Constrói o gráfico velocidade-tempo com base nos resultados registados na tua experiência. Que concluis?
- Constrói o gráfico distância-tempo, também com base nos valores registados.
- Que tipo de traçado obtiveste?

ACTIVIDADE EXPERIMENTAL N.º 3 (TRABALHO EM GRUPO)

Efeito da resistência do ar na queda dos corpos

Material necessário: Quatro folhas de papel igual.

Modo de proceder:

1. Amarrotar uma das folhas de papel de modo que fique com uma forma aproximadamente esférica.
2. Subir para uma cadeira e segurar uma folha de papel não amarrotada numa das mãos e a folha de papel amarrotado na outra mão.
3. Contar até três e deixar cair as duas folhas de papel ao mesmo tempo. Observar atentamente o movimento de queda das folhas.
4. Amarrotar agora duas folhas de papel juntas, dando-lhes uma forma aproximadamente esférica e com as mesmas dimensões da folha amarrotada em **1.**
5. Repetir os pontos **2.** e **3.**, mas agora segurando numa das mãos uma folha amarrotada e na outra as duas folhas amarrotadas.

Observações e conclusões:

- Qual é a força responsável pela queda das folhas de papel?
- O que concluis quanto ao tempo de queda nas várias situações?
- Explica as diferenças registadas na queda livre das folhas.
- Qual é a força responsável pelas diferenças observadas?
- Quais seriam os resultados destas experiências se fossem realizadas na Lua?

EU DISCUTO...

ÁLCOOL SEM TRAGÉDIA

Sensibilização ao tema:

Ano após ano, o álcool alimenta os números da sinistralidade rodoviária, em particular nas épocas festivas, como o Natal e o Ano Novo. O balanço das operações policiais inclui sempre mortos e feridos em consequência de acidentes de viação. Na origem de muitos destes acidentes está certamente o álcool.

Sob a influência do álcool, as pessoas sentem-se audazes. Tudo porque o álcool funciona como desinibidor e activa os processos físicos e mentais. Uma capa que esconde a realidade: o álcool é um depressor e prejudica as capacidades psicofisiológicas, mesmo se ingerido em pequenas doses.

Sob a influência do álcool, as capacidades de atenção e vigilância vão ficando diminuídas; há uma redução da acuidade visual, quer para perto, quer para longe, o que leva à alteração dos contornos dos objectos, tanto parados como em movimento; além disso, o condutor torna-se incapaz de avaliar correctamente distâncias e velocidades, o campo visual estreita-se e o tempo de recuperação após um encadeamento aumenta. Aumenta também o tempo de reacção, enquanto os reflexos vão ficando mais lentos e o corpo deixa de oferecer resistência à fadiga.

Para que não seja a próxima vítima, aqui fica o conselho de sempre: **se conduzir não beba.**

Farmácia Saúde, n.º 135, Dezembro de 2007 (adaptado)

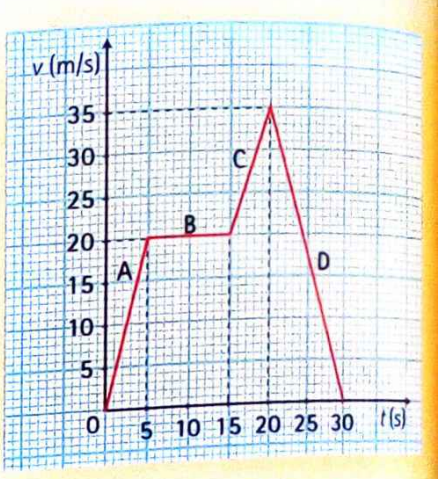
Discussão:

Face ao crescente aumento de acidentes rodoviários, discute os seguintes tópicos na sala de aula:

- quais as principais causas dos acidentes rodoviários;
- medidas para prevenir os acidentes rodoviários.

Aplico

1. O gráfico velocidade-tempo traduz o movimento de um corpo de massa 5 kg que descreve uma trajectória rectilínea, como mostra a figura.



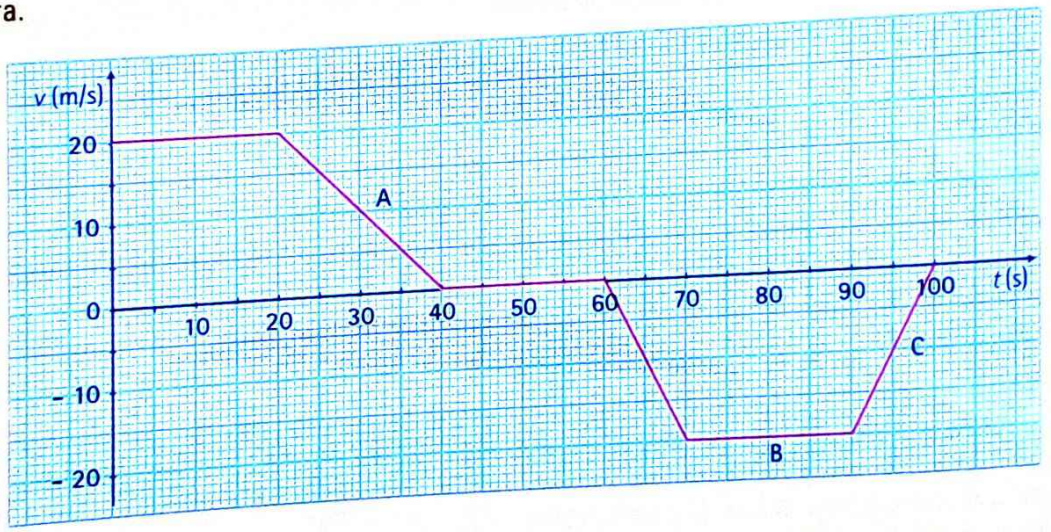
1.1. Indica o tipo de movimento do corpo nos trajectos correspondentes no gráfico A, B, C e D.

1.2. Calcula o valor da aceleração média do corpo nos intervalos de tempo:

0 s a 5 s e 20 s a 30 s.

1.3. Determina o espaço percorrido pelo corpo no intervalo de tempo 0 s a 15 s.

2. O gráfico velocidade-tempo traduz o movimento de um carro que percorre uma trajectória rectilínea, de acordo com a figura.



2.1. Descreve o movimento do carro em A, B e C.

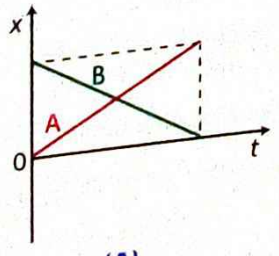
2.2. Indica os intervalos de tempo em que o carro se move com velocidade constante.

2.3. Calcula o valor da aceleração média do carro nos seguintes intervalos de tempo: [20, 40] s; [60, 70] s e [90, 100] s.

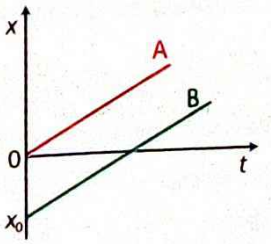
2.4. Determina o espaço percorrido pelo carro durante todo o percurso.

3. Dois automóveis A e B partem simultaneamente do mesmo ponto, com o mesmo valor de velocidade, mas em sentidos contrários.

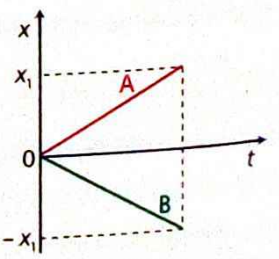
Indica qual ou quais dos gráficos representa o movimento destes corpos.



(A)

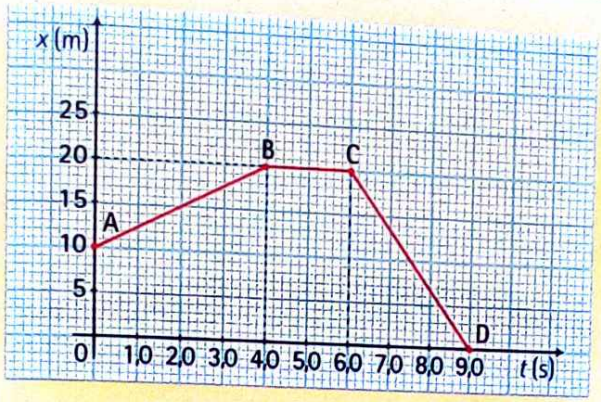


(B)



(C)

4. O gráfico posição-tempo da figura diz respeito ao movimento rectilíneo de um corpo durante 9,0 s.



Relativamente a este movimento, podemos afirmar que:

(A) No intervalo de tempo [0; 9,0] s, o deslocamento do corpo foi de 20 m e a distância percorrida de 30 m.

(B) A posição inicial do corpo coincide com a posição final.

(C) O corpo esteve parado 2,0 s.

(D) Nos intervalos de tempo [0; 4,0] s e [6,0; 9,0] s, o corpo deslocou-se com velocidade constante.

(E) Nos primeiros 4,0 s de movimento, o corpo deslocou-se no sentido positivo, à velocidade constante de 2,5 m/s.

Selecciona as opções correctas.

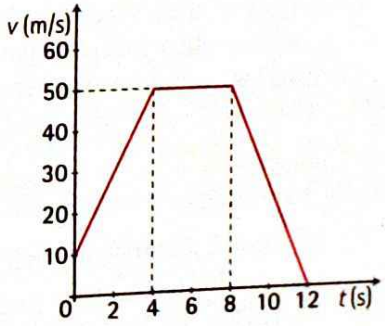
Resolução:

(C) O corpo esteve parado 2,0 s no intervalo de tempo [4,0; 6,0] s.

(D) Nos intervalos de tempo [0; 4,0] s e [6,0; 9,0] s o corpo deslocou-se com velocidade constante, porque percorreu espaços iguais em intervalos de tempo iguais.

(E) Nos primeiros 4,0 s de movimento, o corpo deslocou-se no sentido positivo, à velocidade constante de 2,5 m/s, uma vez que a recta tem declive positivo e $v = \frac{20 - 10}{4,0 - 0} = 2,5$ m/s.

5. O gráfico da figura mostra o movimento de um motociclista numa pista. Supõe que o movimento se efectua na direcção horizontal e com uma trajectória rectilínea.



5.1. Calcula o valor da aceleração média no intervalo de tempo de 0 a 4 s.

5.2. Indica, justificando, o tipo de movimento que o motociclista tem nos intervalos de tempo:

a) de 0 a 4 s; **b)** de 4 a 8 s; **c)** de 8 a 12 s.

5.3. Calcula a distância percorrida pelo motociclista enquanto se deslocou com velocidade constante.

6. Faz corresponder as expressões **a)**, **b)** e **c)** às expressões **I**, **II**, **III** e **IV**.

a) Gráfico posição-tempo do movimento rectilíneo uniforme.	•	• **I)** Semi-recta coincidente com o eixo dos tempos.
b) Gráfico velocidade-tempo do movimento rectilíneo uniforme.	•	• **II)** Semi-recta paralela ao eixo dos tempos.
c) Gráfico aceleração-tempo do movimento rectilíneo uniforme.	•	• **III)** Semi-recta não paralela ao eixo dos tempos.
		• **IV)** Parábola.

7. Atende aos dados da tabela, referentes a um movimento rectilíneo uniforme.

t/s	0,0	1,0	3,0	5,0
s/m	− 20	− 21	− 23	− 25

7.1. Escreve a equação deste movimento em unidades SI.

7.2. Determina o espaço percorrido durante 7,0 s de movimento.

7.3. Calcula a rapidez média do movimento.

Resolução:

7.1. A equação para o movimento rectilíneo uniforme é: $s = s_0 + vt$

Temos de calcular a velocidade: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \iff v = \frac{-25-(-20)}{5} \iff v = -1$ m/s

$s = -20 - t$ (SI)

7.2. $s = -20 - t$; $s = -20 - 7$; $s = -27$ m

Sabendo que $s_0 = -20$ m, o espaço percorrido será de 7 m.

7.3. $r_m = \frac{s}{\Delta t} \iff r_m = \frac{5}{5} = 1$ m/s

8. Um móvel deslocou-se segundo a equação $s = 10 + 40t$ (SI). Indica, das afirmações que se seguem, as verdadeiras e as falsas e corrige as falsas.

(A) No instante inicial o móvel ocupou a posição 40 m.

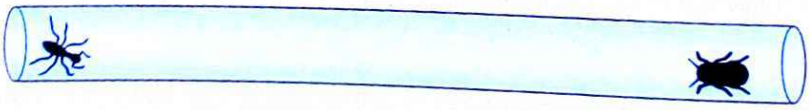
(B) Não há dados para sabermos qual a forma da trajectória.

(C) O móvel deslocou-se à velocidade de 40 m/s.

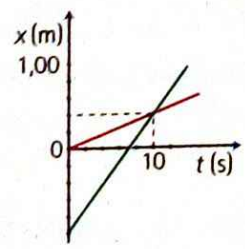
(D) O movimento fez-se no sentido negativo da trajectória.

(E) O móvel nunca passou pela origem da trajectória.

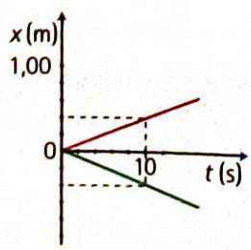
9. Conforme indica a figura, colocaram-se nas extremidades de um tubo de vidro, de 1 m de comprimento, uma formiga e uma barata e deixou-se uma ir ao encontro da outra. Verificou-se que os seus movimentos são aproximadamente uniformes e que elas se cruzam depois de 10 s, a 40 cm da extremidade em que estava a formiga.



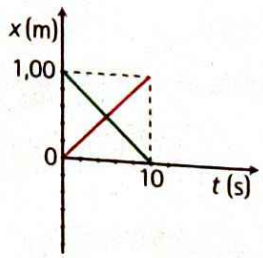
9.1. Qual é o gráfico que representa os movimentos anteriormente descritos?



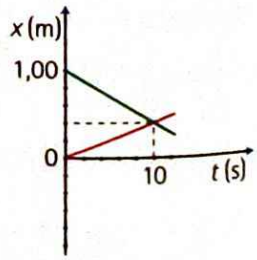
(A)



(B)



(C)



(D)

9.2. Indica as velocidades da formiga e da barata.

9.3. Indica a expressão analítica da equação das posições no SI da formiga e da barata.

9.4. Quando a barata chegar à outra extremidade do tubo, qual será a distância entre a formiga e a barata?

10. Um movimento é uniformemente acelerado sempre que:

(A) A aceleração é constante.

(B) A velocidade e a aceleração têm o mesmo sinal.

(C) A velocidade e a aceleração têm o mesmo sinal e a aceleração é constante.

Selecciona a opção correcta.

11. Lança-se um berlinde de baixo para cima numa calha inclinada com velocidade inicial de módulo 1,2 m/s. O berlinde sobe com movimento uniformemente retardado até que pára. Depois, desce com movimento uniformemente acelerado. A aceleração tem módulo 0,40 m/s^2. Suponhamos que o sentido positivo da trajectória é o da subida e que a posição inicial é $s_0 = 0{,}10$ m.

11.1. Escreve a equação das posições deste movimento.

11.2. Estabelece a equação das velocidades para este movimento.

11.3. Determina em que instante o berlinde chegou ao ponto mais alto da sua trajectória e parou.

Resolução:

11.1. Como inicialmente o berlinde se desloca no sentido positivo da trajectória, v_0 é positivo, isto é, $v_0 = 1{,}2$ m/s. O movimento inicialmente é uniformemente retardado e, por isso, a aceleração tem sinal contrário ao de v_0. Portanto, $a = -0{,}40$ m/s^2. A equação do movimento é:

$$s = 0{,}10 + 1{,}2t + \frac{1}{2} \times (-0{,}40)t^2 \iff s = 0{,}10 + 1{,}2t - 0{,}20t^2 \text{ (SI)}$$

11.2. $v = v_0 + at \iff v = 1{,}2 - 0{,}40t$

11.3. Quando o berlinde pára, $v = 0$ m/s. Substituindo na equação das velocidades: $0 = 1{,}2 - 0{,}40t \iff t = 3{,}0$ s

12. Um ponto material parte da posição $s_0 = -5{,}0$ m, com velocidade inicial $v_0 = 4{,}0$ m/s e com movimento uniformemente retardado de aceleração 6,0 m/s^2.

12.1. Escreve a equação das posições do movimento.

12.2. Escreve a equação das velocidades do movimento.

12.3. Diz em que posição se encontra o ponto material e que velocidade tem no instante $t = 2{,}0$ s.

12.4. Qual o deslocamento no intervalo de 2,0 s a 3,0 s?

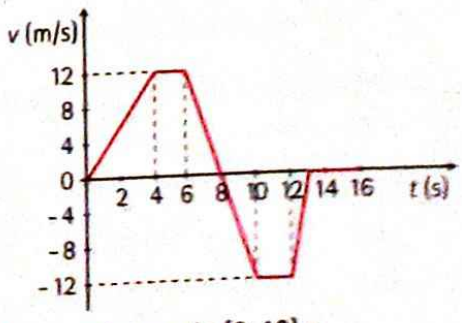
12.5. Calcula o tempo que o ponto material gasta até parar.

13. Uma partícula, inicialmente em repouso, iniciou um movimento uniformemente acelerado com aceleração 3,0 m/s^2 no sentido positivo da trajectória.

13.1. Escreve a equação das posições e a equação das velocidades do movimento, admitindo que partiu da origem da trajectória.

13.2. Em que instante passou na posição $s = 24$ m? Com que velocidade?

14. O gráfico da figura representa a variação da velocidade, em função do tempo, de uma partícula material, que se move numa trajectória rectilínea e que no instante $t = 0$ s se encontra na posição 4,0 m.



14.1. Classifica o movimento da partícula no intervalo de tempo [0; 16] s.

14.2. Traça o gráfico do valor da aceleração, em função do tempo, correspondente ao intervalo de tempo [0; 16] s.

14.3. Calcula o espaço percorrido pela partícula no intervalo [0; 10] s.

14.4. Escreve a expressão analítica da lei das velocidades do ponto material para o intervalo [6; 10] s.

14.5. Indica um instante em que ocorre inversão no sentido do movimento.

15. A lei das posições de um movimento rectilíneo é $s = 4\,t^2$ (SI).

15.1. Indica as afirmações verdadeiras e as falsas.

(A) A posição inicial é $s_0 = 4$ m.

(B) A equação das velocidades é $v = 8t$ (SI).

(C) A velocidade inicial é $v_0 = 4$ m/s.

(D) A aceleração é $a = 8$ m/s^2.

15.2. Calcula a posição, a velocidade e a aceleração no instante $t = 1$ s.

15.3. Em que sentido se move o ponto material no instante $t = 1$ s? Justifica.

15.4. Caracteriza o movimento do corpo nesse instante.

15.5. Que sentido tem, nesse instante, o vector $\vec{v}$? E o vector $\vec{a}$? Justifica.

Resolução:

15.1. **(A)** Falsa, $s_0 = 0$ m. **(B)** Verdadeira. **(C)** Falsa, $v_0 = 0$ m/s. **(D)** Verdadeira.

15.2. Sendo $s = 4t^2 \iff s = 4 \times 1^2 \iff s = 4$ m

Sendo a equação das velocidades $v = 8t \iff v = 8 \times 1 \iff v = 8$ m/s

A aceleração será: $\frac{1}{2}a = 4 \iff a = 8$ m/s^2

15.3. Positivo, porque $v > 0$.

15.4. Movimento uniformemente acelerado, porque v e a têm o mesmo sinal algébrico nesse instante. São ambas positivas, sendo a constante.

15.5. O vector $\vec{v}$ tem sentido positivo, pois $v > 0$; $\vec{a}$ tem sentido positivo, pois $a > 0$.

16. Uma esfera metálica é abandonada, em queda livre, do cimo de uma torre, cuja altura é de 70 m. Calcula:

16.1. o tempo que a esfera demora a chegar ao solo;

16.2. o espaço percorrido durante o primeiro segundo de queda;

16.3. o valor algébrico da velocidade com que chega ao solo.

17. Indica as afirmações falsas, a respeito do lançamento vertical de um grave, e corrige-as.

(A) O movimento é uniformemente retardado na subida e uniformemente acelerado na descida.

(B) A velocidade na subida, a uma determinada altura do solo, tem o mesmo módulo que na descida, mas é de sinal contrário.

(C) A aceleração na subida é menor que na descida.

(D) O tempo de subida é superior ao de descida até ao mesmo nível.

(E) Desprezando a resistência do ar, um corpo mais leve atinge menor altura do que um corpo mais pesado se ambos forem lançados com a mesma velocidade inicial.

18. Abandonou-se uma pedra de uma altura de 100 m, num dado local onde $g = 9{,}8$ m/s^2. Considera como negativo o sentido descendente.

18.1. Quanto tempo levou a pedra a atingir o solo?

18.2. Com que velocidade a pedra chegou ao solo?

18.3. Que velocidade tinha a pedra a meio do caminho?

SOLUÇÕES

UNIDADE 2 – OSCILAÇÕES E ONDAS MECÂNICAS

Página 58

JÁ SEI...

Amplitude, frequência, período, distância, tempo, meio, comprimento, massa, amplitude.

Páginas 60 a 61

APLICO

2.

2.1. $T = 0{,}314$ s

2.2. $f = 3{,}18$ Hz

2.3. O valor do período permaneceria igual a 0,314 s.

4.

4.1. Nos pontos B e B'.

4.2. No ponto O.

4.3. No ponto O.

4.4. Nos pontos B e B'.

4.5. No ponto O.

5.

5.1. Diminuirá.

5.2. Aumentará.

5.3. Não sofre alteração.

6.

6.1. Ambas vão aumentar.

6.2. v_1 e v_2 não sofrem alteração porque não houve alteração nos meios (1) e (2).

6.3. Ambos vão diminuir.

7. $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8}{1{,}5 \times 10^3} = 2 \times 10^5$ m

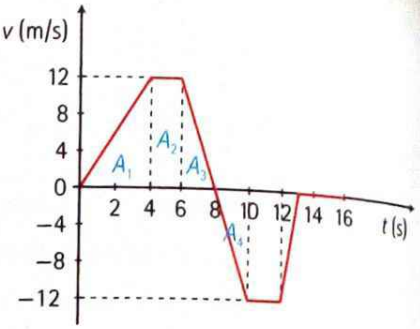
8. Opção (E).

9. Estão todas correctas.

10. $L = \frac{mg}{k}$

11. Opções (C), (D) e (E).

14.3. O espaço percorrido pela partícula no intervalo [0; 10] s é igual à área nesse intervalo de tempo.



$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$

$A_{total} = \frac{4 \times 12}{2} + 2 \times 12 + \frac{2 \times 12}{2} + \left|\frac{2 \times (-12)}{2}\right|$

$A_{total} = 24 + 24 + 12 + 12 \iff A_{total} = 72$

O espaço percorrido pela partícula no intervalo [0; 10] s é 72 m.

14.4. Para saber a expressão analítica da lei das velocidades do ponto material para o intervalo [6; 10] s temos $v = v_0 + a\,t$.

$v_0 = 12$ m/s e $a = \frac{v_f + v_0}{\Delta t} \iff a = \frac{-12 - 12}{10 - 6} \iff a = -6$ m/s^2

Logo, a lei das velocidades fica: $v = 12 - 6t$.

14.5. Inverte o sentido do movimento em $t = 8$ s.

16.

16.1. $s = s_0 + \frac{1}{2} g t^2 \Longrightarrow 70 = 0 + \frac{1}{2} \times 9{,}8\, t^2 \iff t = 3{,}8$ s

16.2. $s = s_0 + \frac{1}{2} g t^2 \Longrightarrow s = 0 + \frac{1}{2} \times 9{,}8 \times 1^2 \iff s = 4{,}9$ m

16.3. $v = g t \Longrightarrow v = 9{,}8 \times 3{,}8 \iff v = 37{,}24$ m/s

17. (A) Verdadeira; (B) Verdadeira; (C) Falsa, é igual em sinal e em módulo; (D) Falsa, é igual; (E) Falsa, é igual.

18.

18.1. Se o sentido negativo é o descendente, $g < 0$ e $s_0 = 100$.

$s = s_0 + \frac{1}{2} g t^2 \Longrightarrow 0 = 100 - \frac{1}{2} \times 9{,}8 \times t^2 \iff t = 4{,}5$ s

18.2. $v = g t \Longrightarrow v = -9{,}8 \times 4{,}5 \iff v = -44$ m/s

18.3. $s = s_0 + \frac{1}{2} g t^2 \Longrightarrow 50 = 100 - \frac{1}{2} \times 9{,}8 \times t^2 \iff t = 3{,}19$ s; $v = g t \Longrightarrow v = -9{,}8 \times 3{,}19 \iff v = -31$ m/s

BIBLIOGRAFIA

Plano Curricular do Ensino Secundário Geral, Ministério de Educação e Cultura, Maputo, 2004.

MACIEL, Noémia; MIRANDA, Ana. *Eu e o Planeta Azul – Ciências Físico-Químicas 8.º ano, Manual do Aluno, Guia do Professor e Caderno de Actividades*. Porto Editora, 2007.

MACIEL, Noémia; MIRANDA, Ana. *Eu e o Planeta Azul – Ciências Físico-Químicas 9.º ano, Manual do Aluno, Guia do Professor e Caderno de Actividades*. Porto Editora, 2008.

MACIEL, Noémia; VILLATE, Jaime E.; AZEVEDO, Carlos; BARBOSA, F. Maciel. *Eu e a Física 12, Física 12.º ano, Manual do Aluno, Guia do Professor e Caderno de Actividades*. Porto Editora, 2009.

RODRIGUES, M. Margarida; DIAS, Fernando M. L. *Física e Química na Nossa Vida, Sustentabilidade na Terra – Ciências Físico-Químicas 8.º ano*. Porto Editora, 2007.

RODRIGUES, M. Margarida; DIAS, Fernando M. L. *Física e Química na Nossa Vida, Viver melhor na Terra – Ciências Físico-Químicas 9.º ano*. Porto Editora, 2008.

RODRIGUES, M. Margarida; DIAS, Fernando M. L. *Física na Nossa Vida 11, Física 11.º ano*. Porto Editora, 2008.

ÁLVARES, Beatriz Alvarenga; DA LUZ, António M. Ribeiro. *Curso de Física, vols.1 e 2*. Editora Harper & Row do Brasil, São Paulo.

Símbolos da República de Moçambique

BANDEIRA

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
ó 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

10.ª classe

Física

Vália Aléxieva / Sara Lima

LIVRO DO ALUNO

PLURAL EDITORES
www.pluraleditores.co.mz
ISBN 978-989-611-209-7
09487.04