

Física e Química

Componente de Química

10.º ano

10



Ministério
da Educação



Manual Digital na app
EV Smart Book e em
www.escolavirtual.cv



Tabela Periódica dos Elementos Químicos

Número atômico		Elemento		Estados físicos a 0°C e 1 atm:	
Nome do elemento		Massa atômica relativa		Preto – sólido	
				Azul – líquido	
				Cinzentos – preparado por síntese	

1	2	13	14	15	16	17	18										
1 H Hidrogênio 1,01	2 He Hélio 4,00	3 Li Lítio 6,94	4 Be Berílio 9,01	5 B Boro 10,81	6 C Carbono 12,01	7 N Nitrogênio 14,01	8 O Oxigênio 16,00	9 F Flúor 19,00	10 Ne Neón 20,18								
11 Na Sódio 22,99	12 Mg Magnésio 24,31	13 Al Alumínio 26,98	14 Si Silício 28,09	15 P Fósforo 30,97	16 S Enxofre 32,06	17 Cl Cloro 35,45	18 Ar Argon 39,95										
19 K Potássio 39,10	20 Ca Cálcio 40,08	21 Sc Escândio 44,96	22 Ti Titânio 47,87	23 V Vanádio 50,94	24 Cr Cromo 52,00	25 Mn Manganês 54,94	26 Fe Ferro 55,85	27 Co Cobalto 58,93	28 Ni Níquel 58,69	29 Cu Cobre 63,55	30 Zn Zinco 65,38	31 Ga Gálio 69,72	32 Ge Germanio 72,63	33 As Arsênio 74,92	34 Se Selênio 78,97	35 Br Bromo 79,90	36 Kr Cripton 83,80
37 Rb Rubídio 85,47	38 Sr Estrôncio 87,62	39 Y Ítrio 88,91	40 Zr Zircônio 91,22	41 Nb Nióbio 92,91	42 Mo Molibdênio 95,95	43 Tc Tecnécio	44 Ru Rutênio 101,07	45 Rh Ródio 102,91	46 Pd Paládio 106,42	47 Ag Prata 107,87	48 Cd Cádmio 112,41	49 In Índio 114,82	50 Sn Estanho 118,71	51 Sb Antimônio 121,76	52 Te Telúrio 127,60	53 I Iodo 126,90	54 Xe Xénon 131,29
55 Cs Césio 132,91	56 Ba Bário 137,33	57-71 Lantanídeos	72 Hf Háfnio 178,49	73 Ta Tântalo 180,95	74 W Tungstênio 183,84	75 Re Rênio 186,21	76 Os Ósmio 190,23	77 Ir Iródio 192,22	78 Pt Platina 195,08	79 Au Ouro 196,97	80 Hg Mercúrio 200,59	81 Tl Talio 204,38	82 Pb Chumbo 207,2	83 Bi Bismuto 208,98	84 Po Polônio	85 Rn Radon	86 Rn Radon
87 Fr Frâncio	88 Ra Rádio	89-103 Actinídeos	104 Rf Rutherfordório	105 Db Dúbio	106 Sg Seabórgio	107 Bh Bóhrio	108 Hs Hássio	109 Mt Meitnério	110 Ds Darmstácio	111 Rg Roentgênio	112 Cn Copernício	113 Nh Nipônio	114 Fl Fleróvio	115 Mc Moscóvio	116 Lv Livermório	117 Ts Tenesso	118 Og Oganessão

57 La Lantânio 138,91	58 Ce Cério 140,12	59 Pr Praseodímio 140,91	60 Nd Neodímio 144,24	61 Pm Promécio	62 Sm Samário 150,36	63 Eu Európio 151,96	64 Gd Gadolínio 157,25	65 Tb Térbio 158,93	66 Dy Disprósio 162,50	67 Ho Hólmio 164,93	68 Er Érbio 167,26	69 Tm Túlio 168,93	70 Yb Ítérbio 173,05	71 Lu Lutécio 174,97
---------------------------------------	------------------------------------	--	---------------------------------------	-----------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	--	-------------------------------------	--	-------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------

6.º

89 Ac Actínio	90 Th Tório 232,04	91 Pa Protactínio 231,04	92 U Urânio 238,03	93 Np Neptúnio	94 Pu Plutónio	95 Am Americio	96 Cm Cúrio	97 Bk Berkélio	98 Cf Califórnio	99 Es Einstênio	100 Fm Férmio	101 Md Mendelévio	102 No Nobélio	103 Lr Lawrêncio
----------------------------	------------------------------------	--	------------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--------------------------	-----------------------------	-------------------------------	------------------------------	----------------------------	--------------------------------	-----------------------------	-------------------------------

7.º

Física e Química

Componente de Química

10.º ano



Manual Revisto

O presente manual foi revisto e validado pela Universidade de Cabo Verde.

Explora o teu manual digital



<https://escolavirtual.cv>

Acesso e condições de utilização em
www.escolavirtual.cv



Ministério
da Educação

Podes também aceder ao teu livro através da **app EV Smart Book**



Conhece o teu manual

Separador



Subtemas

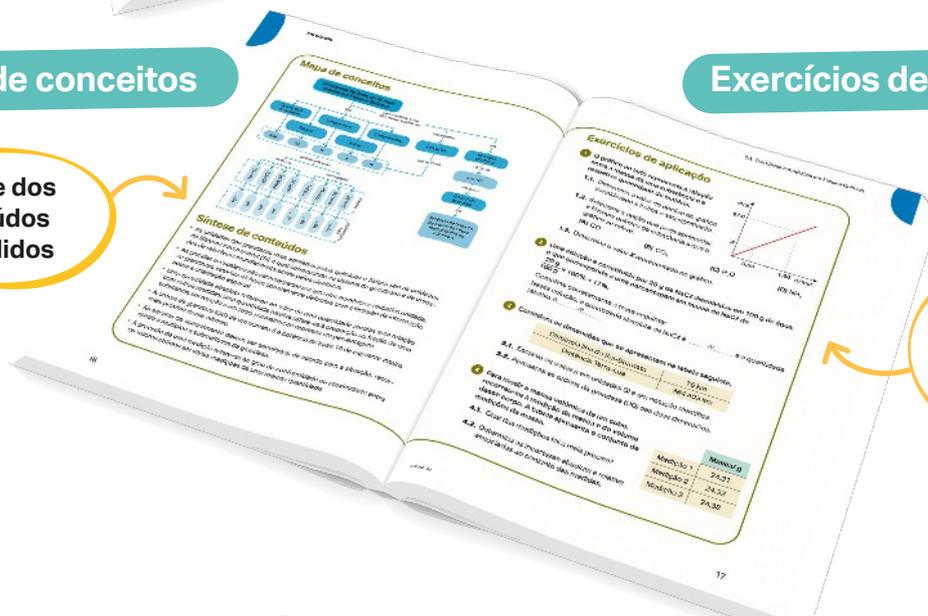
Objetivos de aprendizagens

Fotografia relacionada com o tema

Mapa de conceitos

Exercícios de aplicação

Síntese dos conteúdos aprendidos

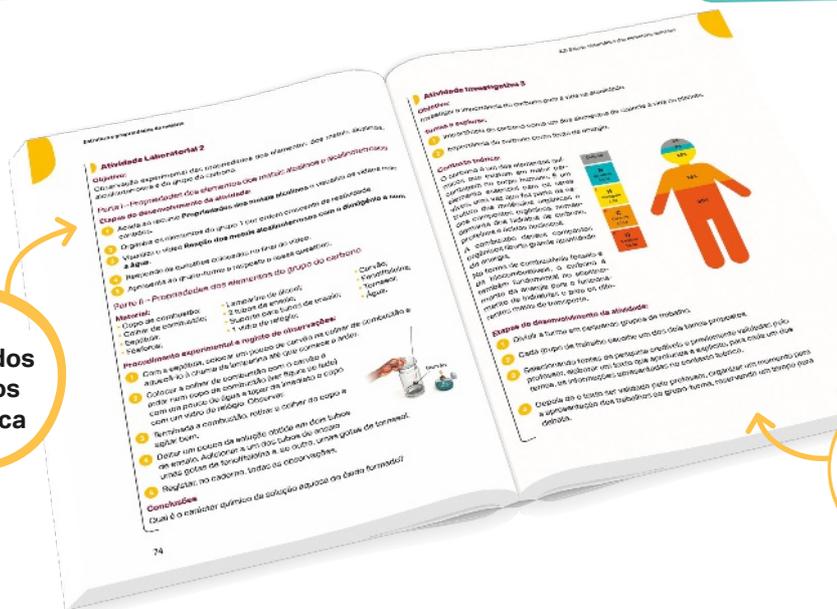


Questões de verificação de aprendizagens

Atividade Laboratorial

Atividade Investigativa

Consolidação dos conhecimentos de forma prática



Contextualização e aprofundamento das aprendizagens

Componente de Química

Teste diagnóstico 4

1

Introdução 6

1.1. Grandezas e medições em Física e Química 8

2

Estrutura e propriedades da matéria 18

2.1. Estrutura do átomo e espectros 22

2.2. Estudo sistemático dos elementos químicos 56

3

Estados da matéria – sólidos, líquidos e gases 94

3.1. Forças intermoleculares 98

3.2. Estrutura e propriedades dos sólidos, líquidos e gases 111

4

Reações químicas 130

4.1. Aspectos cinéticos e energéticos 134

4.2. Reações químicas no meio ambiente 152

Anexos 172

Soluções 173

Teste diagnóstico

- 1 Na tabela seguinte apresentam-se características de átomos de alguns elementos químicos.

Representação	N.º de prótons	N.º de eletrões	N.º de neutrões	N.º de massa
${}^{(a)}_{(b)}X$	6	(c)	6	(d)
${}^{(e)}_6Y$	(f)	6	(g)	13
${}^{23}_{(h)}X$	(i)	(j)	12	23

- 1.1. Completa a tabela indicando o valor das letras de (a) a (j).

- 1.2. Indica, justificando, quantos elementos se encontram representados na tabela.

- 2 A um mesmo volume de água fria e de água quente adicionou-se uma dada quantidade de corante azul, conforme mostra a figura ao lado.



- 2.1. Justifica que, passados alguns instantes, a mistura se tenha tornado corada.

- 2.2. Explica o facto de a solução se tornar corada mais rapidamente no caso em que foi utilizada água quente.

- 3 Completa a tabela seguinte.

Representação simbólica	${}_9F$	${}_9F^-$	${}_{20}Ca$
Distribuição eletrónica	(a)	(c)	(e)
N.º de eletrões de valência	(b)	(d)	(f)

4 Considera as informações referentes aos átomos seguintes.

Átomo	N.º de níveis de energia	N.º de elétrons de valência
X	2	2
Y	1	1
Z	2	3
W	3	1

Classifica em verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das afirmações seguintes.

- (A) Os elementos X e Z pertencem ao mesmo grupo.
 (B) O elemento Y pertence ao 1.º período e o elemento X, ao 4.º período.
 (C) O elemento Z pertence ao grupo 13 e ao mesmo período do elemento X.
 (D) Os elementos X e Z pertencem ao mesmo grupo e o Z pertence ao 3.º período.
 (E) Os elementos Y e W pertencem ao mesmo grupo.
 (F) Os elementos Y e W são metálicos.

5 Considera as substâncias: dibromo (Br_2); dióxigênio (O_2); cloreto de sódio (NaCl); magnésio (Mg).

5.1. Selecciona a opção que identifica, sequencialmente, o tipo de ligação presente entre os átomos (ou iões) das estruturas das substâncias enunciadas.

- (A) Ligação covalente; ligação iónica; ligação iónica.
 (B) Ligação covalente; ligação metálica; ligação iónica.
 (C) Ligação iónica; ligação iónica; ligação metálica.
 (D) Ligação covalente; ligação covalente; ligação iónica.

5.2. Indica o tipo de ligação estabelecida entre os átomos de magnésio.

6 Atendendo à relação entre a quantidade de matéria (n), a massa (m), a massa molar (M) e o número de moléculas (N), completa a tabela abaixo.

Substância	n / mol	m / g	$M / \text{g mol}^{-1}$	N.º de moléculas (N)
H_2		4,04		
CO_2	5,0			
NH_3				$3,01 \times 10^{23}$

FIM

Item	1.1	1.2	2.1	2.2	3.	4.	5.1	5.2	6.
Cotação (valores)	2	2	2	2	2,5	2,5	2	2	3



Introdução

1.1. Grandezas e medições em Física e Química

Subtema 1.1. Grandezas e medições em Física e Química

- Inferir sobre a importância da medição no estudo dos fenômenos.
- Reconhecer a utilidade da quantificação de grandezas utilizando corretamente valores numéricos e unidades de medida.
- Utilizar corretamente valores numéricos e dimensões apropriadas na quantificação de grandezas comuns em Física e Química.
- Diferenciar entre grandezas escalares e grandezas vetoriais.
- Diferenciar entre quantidades absolutas e quantidades relativas.
- Efetuar cálculos envolvendo quantidades de substâncias expressas em termos de massa, número de partículas, mole e massa molar.
- Representar graficamente as relações de quantidade entre as grandezas envolvidas em processos físicos e químicos.
- Manipular corretamente quantidades numéricas utilizando a notação científica (representação na forma de potência de base 10) e as regras do arredondamento.

1 Introdução

Manual Digital

Vídeo
Medição



1.1. Grandezas e medições em Física e Química

Na elaboração das diversas tarefas com que nos deparamos no dia a dia, lidamos com diferentes grandezas e com quantidades muito diversificadas, dependendo de cada situação. A **figura 1** pretende ilustrar um desses exemplos: a confeção de um bolo.

RECEITA

12 ovos
700 g de farinha de trigo
540 g de açúcar
400 mL de água
20 g de fermento em pó
Tempo de cozedura: 50 min em forno a 180 °C
Forma circular: diâmetro de 24 cm



Fig. 1 Receita e condições de cozedura da massa de um bolo.

Para a confeção deste bolo, constam da receita e das condições de cozedura as grandezas comprimento, massa, volume, temperatura e tempo. Os aparelhos de medição serão, respetivamente, a fita métrica, a balança, o copo graduado, o termómetro e o cronómetro. As medidas das diversas grandezas aí representadas traduzem-se por um valor numérico seguido de uma unidade. Neste exemplo, a unidade de comprimento usada foi o centímetro (cm). No entanto, as unidades a usar devem ser selecionadas de acordo com a dimensão do objeto em análise, conforme se exemplifica na **figura 2**.



Fig. 2 A dimensão das estruturas define a unidade a usar.

Os cabo verdianos apresentam uma altura média de 1,75 m para homens e 1,62 m para mulheres. Existem, no entanto, estruturas com dimensões muito superiores, como é o caso da Terra (raio igual a 6371 km), ou muito inferiores, como, por exemplo, uma formiga (4 mm).

As unidades das grandezas mais adotadas pelos químicos e físicos são as unidades do Sistema Internacional (SI), o qual corresponde ao **sistema de grandezas e unidades** de referência mundialmente **aceite** pela **comunidade científica**.

O **quadro 1** apresenta algumas dessas grandezas e respectivas unidades SI.

Grandeza		Unidade SI	
Nome	Símbolo	Nome	Símbolo
Comprimento*	L	metro	m
Área	A	metro quadrado	m^2
Volume	V	metro cúbico	m^3
Massa*	m	quilograma	kg
Força (ex.: peso)	F	newton	N
Tempo*	t	segundo	s
Velocidade	v	metro por segundo	$m\ s^{-1}$
Aceleração	a	metro por segundo ao quadrado	$m\ s^{-2}$
Ângulo plano	$\alpha, \beta, \theta, \dots$	radiano	rad
Pressão	p	pascal	Pa
Energia, trabalho, quantidade de calor	E	joule	J
Comprimento de onda	λ	metro	m
Frequência	f	hertz	Hz
Temperatura termodinâmica*	T	kelvin	K
Quantidade de matéria*	n	mole	mol
Concentração de quantidade de matéria	c	mole por metro cúbico	$mol\ m^{-3}$

Quadro 1 Exemplos de grandezas e respectivas unidades SI mais usadas em Física e em Química. As grandezas identificadas com * são grandezas de base (ou fundamentais) e as respectivas unidades, unidades de base (ou fundamentais).

Cada grandeza física só tem uma única unidade SI, podendo ser utilizados múltiplos e submúltiplos da grandeza fundamental, como km e cm. No entanto, uma mesma unidade SI pode ser utilizada para expressar diferentes grandezas, como é o caso, por exemplo, do comprimento e comprimento de onda. Portanto, uma unidade não é suficiente para especificar uma grandeza.

Assim, para a leitura da indicação fornecida por um instrumento de medição, é necessário apresentar a unidade e a grandeza medida.

Para comparar os valores das grandezas, elas devem ser expressas nas mesmas unidades. Por exemplo, para comparar o volume de 100 mL de uma amostra A com o volume de 1,50 L de uma amostra B, deverá escrever-se:

$$V_A = 100 \text{ mL e } V_B = 1500 \text{ mL ou } V_A = 0,100 \text{ L e } V_B = 1,50 \text{ L}$$

Nas situações em que os valores das grandezas são muito pequenos ou muito grandes, devem escrever-se em notação científica.

Se 1 grão de sal de cozinha (NaCl) tiver uma massa de 0,000 002 2 kg...

$$0,000\ 002\ 2 \text{ kg} = 2,2 \times 10^{-6} \text{ kg}$$



... então, 100 g de NaCl contém mais de 45 mil grãos de sal.

$$45\ 000 \text{ grãos} = 4,5 \times 10^4 \text{ grãos}$$

Fig. 3 A utilização da notação científica na escrita de números.

Exercício resolvido

- 1 Vimos que a massa (m) e a quantidade de matéria (n) são grandezas de base. Já a massa molar é uma grandeza que deriva do quociente entre as unidades de base m e n , respetivamente.

Considera uma amostra de 90,00 g de glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) de massa molar (M) $180,18 \text{ g mol}^{-1}$.

Aplicando os conhecimentos adquiridos no 9.º ano, determina:

- 1.1 a quantidade de matéria existente nesta amostra;
1.2 o número de moléculas existentes na referida amostra.

Dados: $N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Resolução:

$$1.1. n = \frac{m}{M} = \frac{90,00 \text{ g}}{180,18 \text{ g mol}^{-1}} = 0,4995 \text{ mol de moléculas de } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

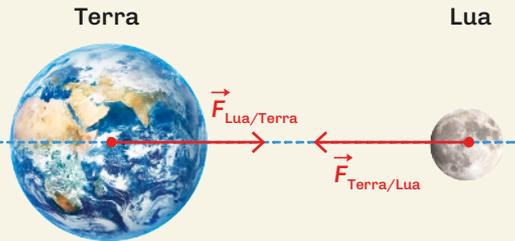
$$1.2. N = n \times N_A = 0,4995 \text{ mol} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 3,008 \times 10^{23} \text{ moléculas de } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

Grandezas escalares e grandezas vetoriais

Existem grandezas que são completamente caracterizadas por uma expressão numérica e respetiva dimensão (grandezas escalares) e outras que envolvem orientação espacial (grandezas vetoriais).



No **quadro 2** distingue-se as duas tipologias de grandezas, apresentando alguns exemplos.

Grandeza escalar	Grandeza vetorial
<p>É completamente definida por um número e uma unidade.</p> <p>Exemplos: temperatura (25 °C), massa (2 kg), tempo (30 s) e energia (500 J).</p> 	<p>É representada por um vetor, que tem um comprimento (valor numérico) e uma orientação (direção e sentido).</p> <p>Exemplos: força (100 N na horizontal para a direita), velocidade (60 km/h na vertical para o norte), deslocamento (10 m na horizontal para a esquerda) e aceleração (9,8 m/s² na vertical para baixo).</p> 

Quadro 2 Distinção entre grandezas escalares e vectoriais.

Em Física e em Química, os conceitos de quantidades **absolutas** e quantidades **relativas** são essenciais para medir, comparar e compreender fenómenos. Por exemplo, para medir a massa de um corpo usa-se uma **quantidade absoluta**: a massa é 2 kg. O mesmo acontece com a medição do tempo ou da quantidade de matéria. Já, por exemplo, a pureza de uma substância, expressa em percentagem, indica a **quantidade relativa** de uma substância pura numa amostra. Por exemplo, um mineral com 95% de pureza contém 95% da substância desejada e 5% de impurezas.

Outra quantidade relativa muito usada em Química é a concentração em partes por milhão (ppm) aplicada a soluções onde o soluto existe em quantidade reduzida. Um exemplo é a concentração do CO₂ na atmosfera, a qual, em 2024, atingiu o valor recorde de 422,5 ppm.

Quantidade absoluta – valor de uma quantidade medida sem relação com outras medidas.

Quantidade relativa – proporção de uma substância em relação a um todo, normalmente expresso em percentagem.

Relações de quantidade entre grandezas

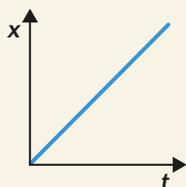
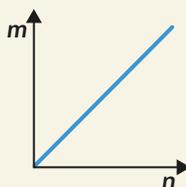
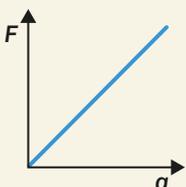
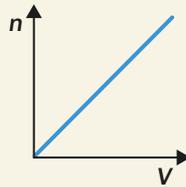
Por outro lado, as relações de quantidade entre grandezas são fundamentais em Química – para compreender, por exemplo, como as substâncias interagem entre si – e em Física – para descrever como diferentes propriedades físicas estão interligadas.

O **quadro 3** apresenta alguns exemplos de relações de quantidade entre grandezas mais usadas em Física e em Química e a representação gráfica dessas relações.



Vídeo
Ordens de
grandeza



Física	Química
<p>– Velocidade média (\vec{v}_m): relação entre o deslocamento ($\Delta\vec{x}$) e o intervalo de tempo (Δt):</p> $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  <p>O gráfico mostra a proporcionalidade direta entre o valor do deslocamento e o tempo de movimento. A constante de proporcionalidade é o valor da velocidade média, v_m.</p>	<p>– Quantidade de matéria: relação entre a massa (m) e a massa molar (M):</p> $n = \frac{m}{M}$  <p>O gráfico evidencia a proporcionalidade direta entre a massa e a quantidade de matéria. A constante de proporcionalidade é a massa molar da substância, M.</p>
<p>– Segunda Lei de Newton: relação entre força (\vec{F}) aplicada sobre um objeto, a sua massa (m) e a aceleração (\vec{a}) que ele adquire:</p> $F = m \times a$  <p>O gráfico evidencia a proporcionalidade direta entre os valores da força e da aceleração. A constante de proporcionalidade é a massa.</p>	<p>– Concentração molar (c): relação entre a quantidade dissolvida de um soluto e o volume da solução.</p> $c = \frac{n}{V}$  <p>O gráfico mostra a proporcionalidade direta entre a quantidade de soluto dissolvida e o volume de solução. A constante de proporcionalidade é a concentração da solução, c.</p>

Quadro 3 Relações entre grandezas mais usadas em Física e Química.

Prefixos de quantidades

As diferentes dimensões na Natureza justificam o uso de outras unidades diferentes das unidades SI (por exemplo, o angström, $\text{Å} = 10^{-10} \text{ m}$) ou a utilização de múltiplos e submúltiplos das unidades SI (por exemplo, o picômetro, pm), possibilitando a escrita de números sem recorrer à notação científica.

Prefixo	Nome	Múltiplos das unidades SI				Submúltiplos das unidades SI			
		Símbolo	tera	giga	mega	quilo	mili	micro	nano
		T	G	M	k	m	μ	n	p
	Fator multiplicador	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}

Quadro 4 Prefixos e símbolos de prefixos mais comuns do SI.

Por exemplo, o comprimento da ligação C–C na molécula de etano é:

$$1,54 \text{ Å} = 154 \text{ pm} = 1,54 \times 10^{-10} \text{ m}$$

Para a medição de distâncias, por exemplo, entre planetas dentro do Sistema Solar, a unidade mais adequada é a unidade astronómica (ua). Entre distâncias ainda maiores no Universo, para além do Sistema Solar, já será mais adequado usar o ano-luz (a.l.). Para exprimir as dimensões de estruturas menores do que as anteriormente exemplificadas, recorre-se ao uso de múltiplos e submúltiplos do metro, sendo estes últimos mais utilizados em Química.

e Manual Digital

Vídeo
Notação científica

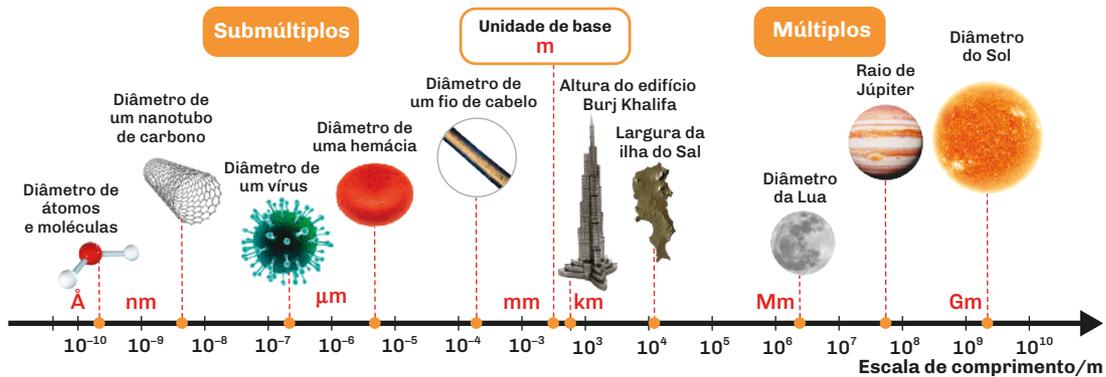


Fig. 4 Exemplos de estruturas organizadas por ordem crescente das suas dimensões.

Ordem de grandeza

A **ordem de grandeza (OG)** de um número é a potência de base 10 de expoente inteiro mais próxima desse número.

A ordem de grandeza (OG) é frequentemente usada não só para comparar os resultados das medições, mas, sobretudo, para facilitar os cálculos, quando essas medidas não necessitam de ser muito exatas. Para determinar a OG de um número, é necessário apresentá-lo, em primeiro lugar, em notação científica, isto é, na forma:

$$\text{valor compreendido entre } 1 \text{ e } 10 (1 \leq m < 10) \cdot m \times 10^n \cdot \text{número inteiro (positivo ou negativo)}$$

Só depois é possível determinar a sua ordem de grandeza. Nas **figuras 5 e 6**, exemplificam-se OG de números que caracterizam diferentes estruturas da Natureza.

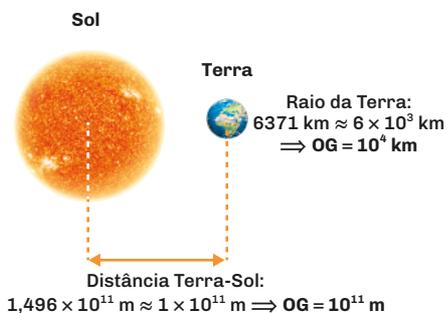


Fig. 5 Exemplos de OG de estruturas de grande dimensão. As representações da distância e do raio não se encontram à escala.

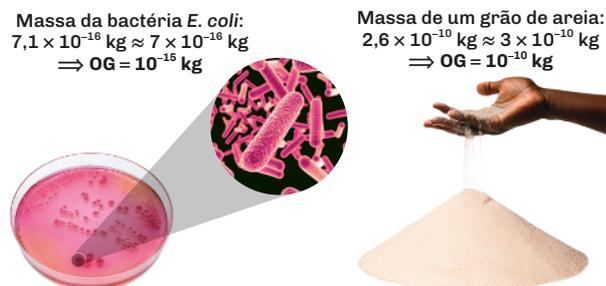


Fig. 6 Exemplos de OG de estruturas de reduzida dimensão. A imagem da bactéria *E. coli* foi obtida através de ampliação microscópica.



Para facilitar a comparação das medições relativas à mesma grandeza:

1. Convertem-se os valores na mesma unidade.
2. No caso de os valores serem muito grandes ou muito pequenos, escrevem-se em notação científica.
3. Determinam-se e relacionam-se as respetivas ordens de grandeza.

Exercício resolvido

2 Apresenta, em notação científica e na unidade do Sistema Internacional, as distâncias indicadas na figura e indica a respetiva ordem de grandeza (OG).



- 2.1 Distância Terra-Lua.
- 2.2 Raio da Terra.
- 2.3 Raio da Lua.

Resolução:

- 2.1. $d_{\text{Terra-Lua}} = 384\,405 \text{ km} = 3,844\,05 \times 10^5 \text{ km} = 3,844\,05 \times 10^8 \text{ m}$; OG = 10^8 m
- 2.2. $r_{\text{Terra}} = 6371 \text{ km} = 6,371 \times 10^3 \text{ km} = 6,371 \times 10^6 \text{ m}$; OG = 10^7 m
- 2.3. $r_{\text{Lua}} = \frac{3475}{2} \text{ km} = 1737,5 \text{ km} = 1,7375 \times 10^3 \text{ km} = 1,7375 \times 10^6 \text{ m}$; OG = 10^6 m

Regras de arredondamento e precisão

O quadro 5 apresenta as regras de arredondamento dos valores numéricos e alguns exemplos de aplicação.

Regra		Exemplo
Se o algarismo a arredondar for seguido de um algarismo inferior a 5, mantém-se o algarismo.		4,344 = 4,34
Se o algarismo a arredondar for seguido de um algarismo superior a 5, acrescenta-se uma unidade.		4,346 = 4,35
Se o algarismo a arredondar for seguido do algarismo 5, o arredondamento segue as seguintes regras:	– se o número a arredondar for par, mantém-se o número par.	4,345 = 4,34
	– se o número a arredondar for ímpar, acrescenta-se uma unidade.	4,355 = 4,36

Quadro 5 Regras de arredondamento dos valores numéricos.

Sempre que possível, uma medição direta deve ser efetuada recorrendo a uma série de medições nas mesmas condições. Neste contexto, a **precisão** exprime a dispersão dos valores medidos, ou seja, o seu **desvio face a um valor médio**. Portanto, no contexto de vários ensaios experimentais, é possível encontrar um valor médio e um desvio de cada ensaio face a esse valor médio.

Existem tantos desvios quantos os ensaios realizados. O desvio a considerar para análise da precisão deve ser o **maior de todos os desvios** determinados. Quanto menor for o desvio, maior será a precisão do resultado e menor será a dispersão.

Para poder avaliar a precisão ou fidelidade de várias medições, deve proceder-se do seguinte modo:

1. Determinar o valor mais provável da grandeza a medir (média aritmética dos valores das medições).
2. Determinar o desvio de cada medição.
3. O maior dos desvios (desvio absoluto máximo) denomina-se incerteza absoluta.
4. Determinar a incerteza de leitura do instrumento.
5. Tomar para incerteza absoluta a maior das incertezas determinadas em 3 e 4.
6. Determinar a incerteza relativa em relação à média, exprimindo-a em percentagem (desvio percentual) e associá-la à precisão das medidas.
7. Exprimir o resultado da medição direta em função do valor mais provável e da incerteza absoluta ou da incerteza relativa.

Exemplo:

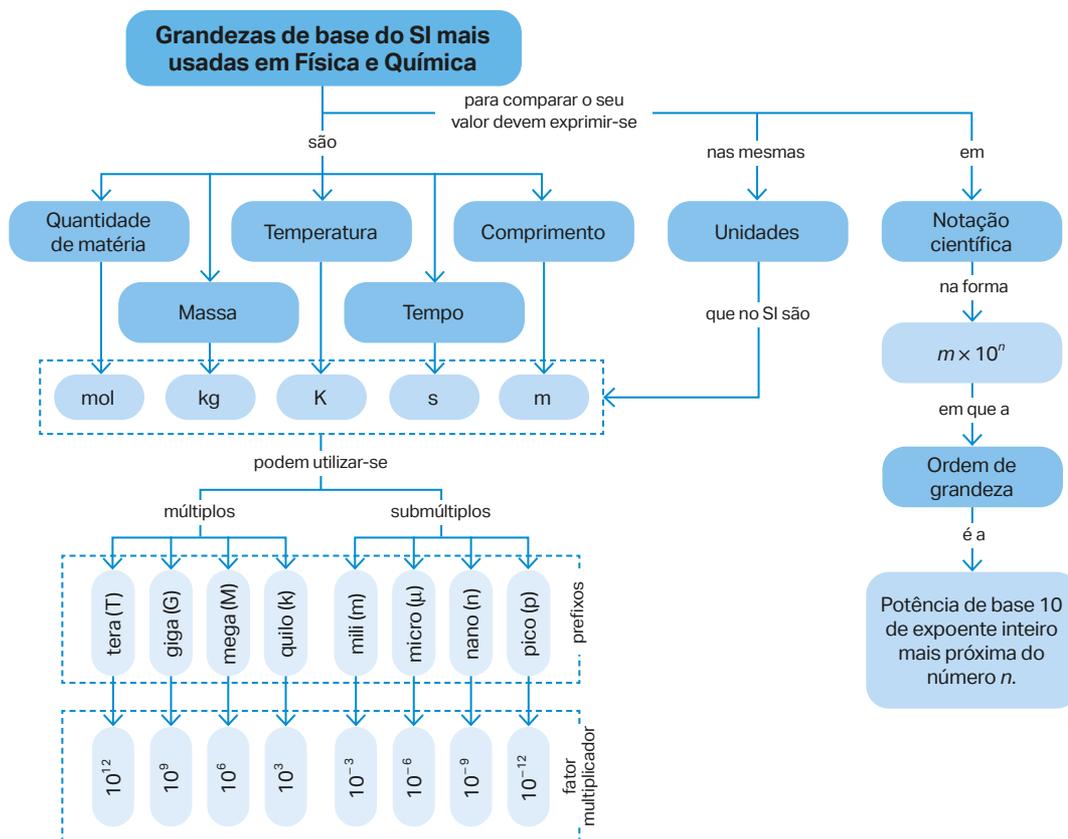
Medição da massa de um objeto numa balança digital de precisão com incerteza associada de $\pm 0,01$ g.



Valores medidos		Cálculo da incerteza			
Ensaio	Massa/g	Média/g	Desvios absolutos/g	Desvio absoluto máximo/g (ou incerteza absoluta (I_a))	Incerteza relativa percentual/%
1	0,75	0,75	0,00	0,02 (note-se que, neste caso, é maior do que a incerteza associada ao aparelho de medida)	$I_r(\%) = \frac{I_a}{X_{\text{médio}}} \times 100\%$ $I_r(\%) = \frac{0,02}{0,75} \times 100\% = 3\%$
2	0,77		0,02		
3	0,73		0,02		
Resultado da medição		$m = (0,75 \pm 0,02)$ g			$m = 0,75$ g \pm 3%

Tabela 1 Medição da massa de um objeto numa balança digital.

Mapa de conceitos

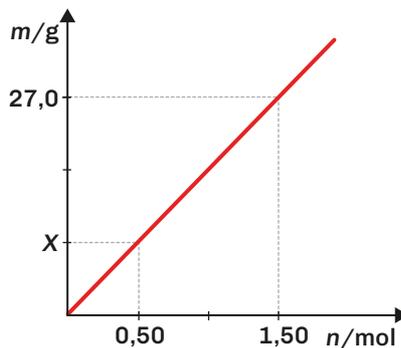


Síntese de conteúdos

- As unidades das grandezas mais adotadas pelos químicos e físicos são as unidades do Sistema Internacional (SI), o qual corresponde ao sistema de grandezas e de unidades de referência mundialmente aceite pelos cientistas.
- As **grandezas escalares** são caracterizadas por um valor numérico e respetiva unidade; as **grandezas vectoriais** só ficam corretamente definidas com a inclusão da informação sobre a orientação espacial.
- Uma **quantidade absoluta** refere-se ao valor de uma quantidade medida sem relação com outras medidas; uma **quantidade relativa** refere-se à proporção ou fração de uma substância em relação a um todo, normalmente expressa em percentagem.
- A **ordem de grandeza (OG)** de um número é a potência de base 10 de expoente inteiro mais próxima desse número.
- As escalas de comprimento devem ser escolhidas de acordo com a situação, recorrendo a múltiplos e submúltiplos da grandeza.
- A precisão de uma medição refere-se ao grau de conformidade ou proximidade entre os valores obtidos em várias medições de uma mesma quantidade.

Exercícios de aplicação

- 1** O gráfico ao lado representa a relação entre a massa de uma substância e a respetiva quantidade de matéria.



- 1.1.** Determina o valor do declive da reta considerada e indica o seu significado.
- 1.2.** Selecciona a opção que pode apresentar a fórmula química da substância a que o gráfico se refere.

(A) CO

(B) CO₂(C) H₂O(D) NH₃

- 1.3.** Determina o valor X representado no gráfico.

- 2** Uma solução é constituída por 20 g de NaCl dissolvidos em 100 g de água, o que corresponde a uma percentagem em massa de NaCl de $\frac{20 \text{ g}}{100 \text{ g}} \times 100\% = 17\%$.

Completa corretamente a frase seguinte:

Nesta solução, a quantidade absoluta de NaCl é⁽¹⁾..... e a quantidade relativa é⁽²⁾.....

- 3** Considera as dimensões que se apresentam na tabela seguinte.

Distância ilha do Sal-Boavista	76 km
Distância Terra-Lua	384 403 km

- 3.1.** Escreve os valores em unidades SI e em notação científica.
- 3.2.** Apresenta as ordens de grandeza (OG) das duas dimensões.

- 4** Para medir a massa volúmica de um cubo, recorreu-se à medição da massa e do volume desse corpo. A tabela apresenta o conjunto de medições da massa.

	Massa/g
Medição 1	24,31
Medição 2	24,33
Medição 3	24,38

- 4.1.** Qual das medições foi a mais precisa?
- 4.2.** Determina as incertezas absoluta e relativa associadas ao conjunto das medidas.

2

Subtema 2.1. Estrutura do átomo e espectros

- Descrever a organização interna do átomo em termos de núcleo (formado por prótons e nêutrons) e elétrons em movimento à volta.
- Descrever a constituição dos átomos tendo por base o número atômico e o número de massa.
- Diferenciar átomos isótopos de um mesmo elemento químico.
- Reconhecer o carácter evolutivo do conhecimento sobre a natureza atômica da matéria e sobre a estrutura do átomo.
- Reconhecer que a energia dos elétrons nos átomos depende da distância em relação ao núcleo e que pode ser alterada por absorção ou emissão de quantidades de energia bem definidas.
- Relacionar as transições eletrônicas com os processos de absorção ou perda de energia pelo átomo.
- Estabelecer as configurações eletrônicas dos átomos, utilizando a notação *s*, *p* e *d*, para elementos com número atômico até $Z = 23$.
- Recorrer ao Princípio da Construção, da Exclusão de Pauli e ao número de elétrons desemparelhados em orbitais degeneradas, no estabelecimento das configurações eletrônicas dos átomos.
- Associar os sinais espectrais dos átomos aos processos de absorção e perda de energia sob a forma de radiação.
- Reconhecer que os átomos absorvem ou emitem energias em quantidades bem definidas.
- Distinguir tipos de espectros: descontínuos e contínuos; de absorção e de emissão.
- Concluir que o espectro resulta de transições eletrônicas entre níveis energéticos.
- Identificar, experimentalmente, elementos químicos em amostras desconhecidas de vários sais, usando testes de chama, comunicando as conclusões.
- Reconhecer o espectro eletromagnético como um conjunto de sinais de radiação correspondentes a comprimentos de onda e a frequências específicos.

Estrutura e propriedades da matéria

2.1. Estrutura do átomo e espectros

2.2. Estudo sistemático dos elementos químicos

Subtema 2.2. Estudo sistemático dos elementos químicos

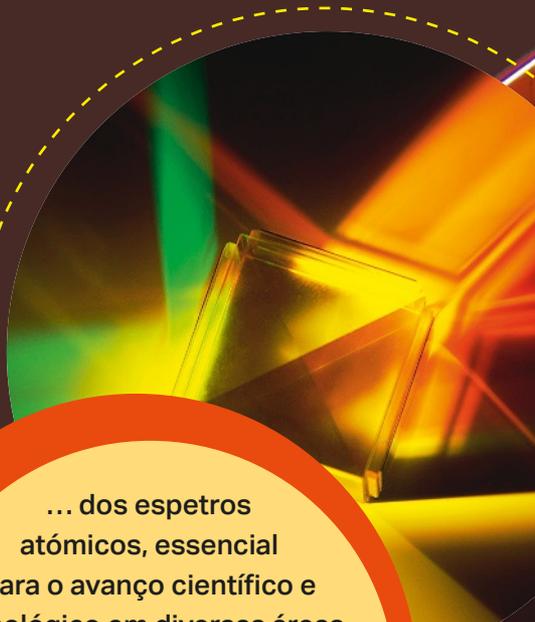
- Reconhecer que alguns átomos podem transformar-se em outros devido à transformação dos respetivos núcleos.
- Reconhecer a radioatividade como uma manifestação de transformação nuclear que ocorre em átomos com núcleos instáveis.
- Compreender os fenómenos radioativos e algumas aplicações tecnológicas associadas à transformação nuclear dos átomos.
- Reconhecer que os elementos químicos existem em quantidades muito diferenciadas, sendo o hidrogénio o mais abundante no Universo, enquanto o oxigénio é o mais abundante na Terra.
- Diferenciar as emissões alfa (α), beta (β) e gama (γ).
- Reconhecer a fusão do hidrogénio como uma reação nuclear comum no interior das estrelas (ex.: Sol) e a fissão do urânio-235.
- Relacionar as configurações eletrónicas dos átomos com a estrutura da Tabela Periódica (TP).
- Interpretar a organização da TP em termos de períodos, grupos e blocos, tendo como base a configuração eletrónica por subníveis.
- Distinguir entre propriedades de um elemento químico e as propriedades das substâncias elementares correspondentes.
- Relacionar a posição dos elementos na TP com as propriedades físicas e químicas, tendo como base a estrutura eletrónica dos respetivos átomos, designadamente, a ocupação dos níveis de energia e as suas valências.

2

Estrutura e propriedades da matéria

Ponto de partida

- Neste tema são introduzidos os conceitos-chave inerentes ao estudo da estrutura atômica e da Tabela Periódica.
- A Química é a Ciência que estuda a constituição da matéria, as suas propriedades e transformações e que nos permite entender e manipular o mundo material, desenvolvendo e otimizando tecnologias fundamentais para a vida moderna.
- Nesta página vais perceber a importância da Química no estudo...



... dos espectros atômicos, essencial para o avanço científico e tecnológico em diversas áreas, permitindo a identificação dos elementos, o desenvolvimento de novas tecnologias e a compreensão de fenômenos fundamentais no Universo.



... da caracterização dos átomos, essencial para compreender a base de toda a matéria que compõe o Universo.



... das reações nucleares e da radioatividade, fundamentais em várias áreas da Ciência e da tecnologia, devido à sua importância na produção de energia, na medicina, na investigação científica e no meio ambiente.



... da estrutura da Tabela Periódica, ferramenta essencial para a previsão e compreensão dos comportamentos químicos, facilitando a descoberta de novos materiais, a identificação dos elementos essenciais à vida e os prejudiciais.

... no estudo das propriedades periódicas dos elementos químicos, permitindo prever os comportamentos químicos, determinar a formação de compostos relevantes, por exemplo, no âmbito das áreas de estudo da química dos materiais e da química ambiental.

Pronto para o estudo?

2.1. Estrutura do átomo e espectros

Caracterização dos átomos

No 8.º ano, aprendeste que as substâncias são constituídas por corpúsculos muito pequenos chamados átomos e, no 9.º ano, estudaste a sua constituição. Este ano vamos iniciar o estudo da Química revendo e aprofundando este tema.

Evolução do conhecimento científico sobre os átomos

Há cerca de 2400 anos, os filósofos gregos Leucipo e Demócrito defenderam que a **matéria** era constituída por **partículas indivisíveis**, que o primeiro designou por partícula fundamental, e o segundo, por **átomo**. Esta visão atômica da matéria, designada por teoria atômica, foi muito criticada durante séculos e só se consolidou na comunidade científica entre os séculos XIX e XX graças à contribuição de vários cientistas.

O esquema da **figura 1** evidencia os **contributos de alguns desses cientistas**.

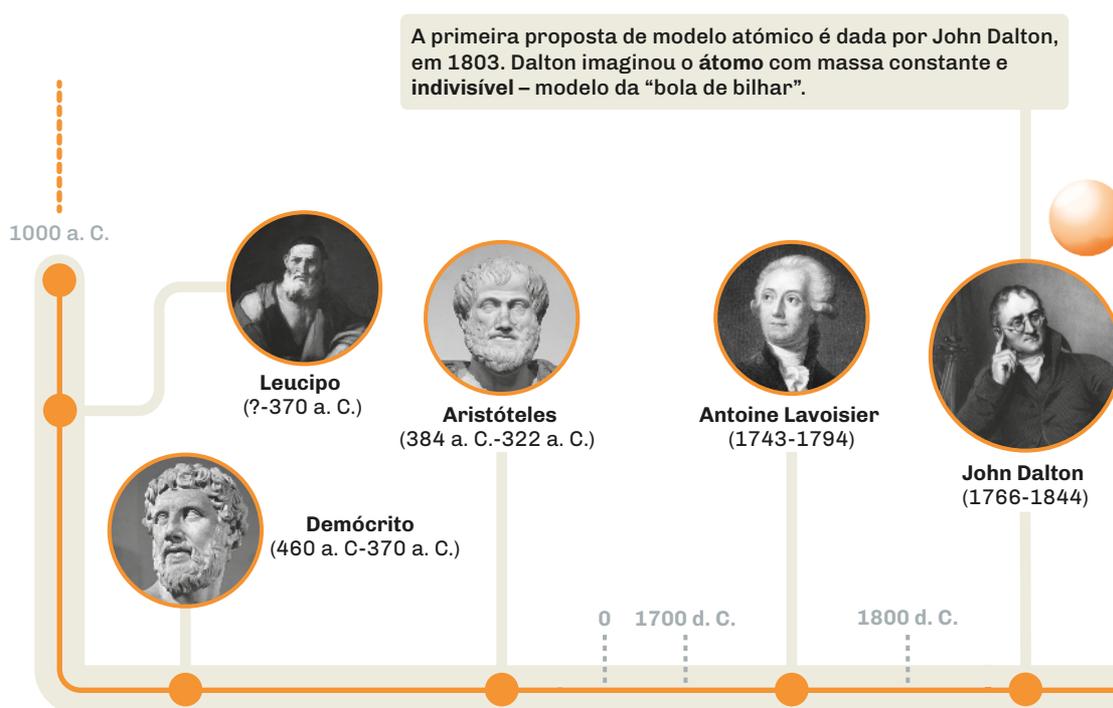


Fig. 1 Alguns dos cientistas que contribuíram para o conhecimento atual sobre o átomo.

Teoria cinético-corpúscular da matéria – a matéria é constituída por corpúsculos (partículas de dimensões submicroscópicas), que podem ser átomos, moléculas ou iões, em incessante movimento, entre os quais existe espaço vazio.

O modelo atómico de Joseph Thomson (1904) ficou conhecido como o modelo do “bolo de passas”. Descobre, em 1897, o eletrão, dando o primeiro passo na descoberta das partículas subatómicas constituintes do átomo. Prova-se, assim, que o átomo não é indivisível.



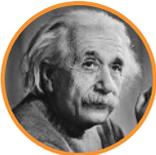
Ernest Rutherford
(1871-1937)



Rutherford (1911) propôs que o átomo é constituído por um núcleo muito pequeno e denso rodeado pelos eletrões, após demonstrar que a maior parte do átomo é espaço vazio. Para explicar a existência de um núcleo tão pequeno, James Chadwick, aluno de Rutherford, propôs e descobriu a existência no núcleo de partículas sem carga, os neutrões, que diminuíam a distância entre protões.



Joseph Thomson
(1856-1940)



Albert Einstein
(1879-1955)



Jean Perrin
(1870-1942)



James Chadwick
(1891-1974)

1900 d. C.

Wilhelm Ostwald
(1853-1932)



Ernst Mach
(1838-1916)



Amedeo Avogadro
(1776-1856)



Robert Brown
(1773-1858)



Em 1827, Robert Brown observou, através de um microscópio simples, o movimento errático de pequenas partículas de grãos de pólen em suspensão aquosa, conhecido por movimento browniano: choques de moléculas de água em agitação constante com os grãos de pólen.

Composição e estrutura interna dos átomos

No ano passado, estudaste que:

O átomo é uma partícula constituída por:

- protões (com carga elétrica positiva) e neutrões (sem carga elétrica), localizados na zona central do átomo, constituindo o núcleo, onde se concentra quase toda a massa do átomo;
- eletrões (com carga elétrica negativa), que rodeiam o núcleo, constituindo uma nuvem eletrónica muito difusa.

O **átomo**, embora seja constituído por partículas carregadas eletricamente, **é neutro**, porque o número de protões é igual ao número de eletrões.

As características das partículas subatómicas constituintes do átomo encontram-se no **quadro 1**.

Partícula	Símbolo	Massa/kg	OG/kg	Carga elétrica relativa	Localização
Protão	p	$1,673 \times 10^{-27}$	10^{-27}	+ 1	Núcleo
Neutrão	n	$1,675 \times 10^{-27}$	10^{-27}	0	Núcleo
Eletrão	e	$9,109 \times 10^{-31}$	10^{-30}	- 1	Nuvem eletrónica

Quadro 1 Características das partículas constituintes do átomo. A unidade de carga utilizada é o módulo da carga do eletrão.

O **quadro 1** mostra que:

- o protão possui uma massa muito superior à do eletrão e carga elétrica positiva;
- o neutrão tem massa semelhante à do protão, mas sem carga elétrica;
- o eletrão tem massa reduzida e carga elétrica negativa.

Elemento químico e isótopos

Cada átomo caracteriza-se pelo número das partículas subatómicas que o constituem e pertence a um determinado **elemento químico**.

Por exemplo, o hidrogénio – o elemento químico mais leve e mais abundante no Universo – é constituído apenas por um protão, embora seja possível a existência de átomos de hidrogénio com um protão e um neutrão, e outros ainda com um protão e dois neutrões.

Elemento químico é a designação dada a um conjunto de átomos que se caracterizam por possuírem o mesmo número de protões.

O número de prótons define, portanto, o elemento químico.

O **número de prótons** existente no núcleo denomina-se **número atômico** e representa-se por **Z**.

Um **elemento químico X** representa-se simbolicamente por:



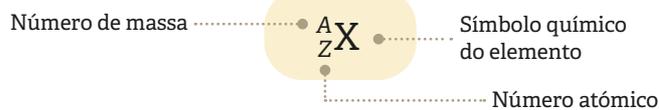
A massa de um átomo é principalmente a massa do seu núcleo, ou seja, a massa dos prótons mais a massa dos neutrões.

O **número de massa**, representado pela letra **A**, é igual ao **número de nucleões** (soma do número de prótons e neutrões).

$$\text{Número de massa} \cdots \bullet \mathbf{A = Z + n} \cdots \text{Número de neutrões}$$

↓
Número atômico

Na representação simbólica de um dado átomo, o número de massa coloca-se à esquerda, como índice superior:



No caso do **elemento hidrogénio**, existem, na Natureza, três espécies diferentes, consoante o número de neutrões:

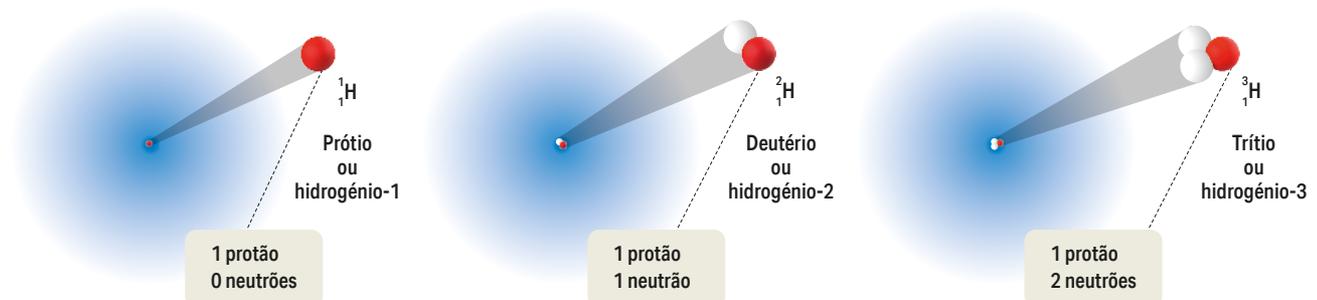


Fig. 2 Átomos de prótio, deutério e trítio.

Átomos com o mesmo número atômico (do mesmo elemento químico) mas diferentes números de massa (por terem diferentes números de neutrões) denominam-se **isótopos**.



Exercício resolvido

- 1 Considera a representação dos seguintes átomos e iões, em que as letras A, B, C e D não correspondem aos respetivos símbolos químicos:



Indica:

- 1.1 o número atómico e o número de massa dos três átomos;
- 1.2 o número de protões, neutrões e eletrões dos três átomos;
- 1.3 o número de protões, neutrões e eletrões do ião representado;
- 1.4 o número de elementos químicos representados.

Resolução:

- 1.1. O número atómico (Z) de A é 8, de B é 9 e de C é 8. O número de massa (A) do átomo A é 16, do B é 19 e do C é 19.

- 1.2. O número de protões é igual ao número atómico (Z). Assim:

O número de protões do átomo A é 8, do átomo B é 9 e do átomo C é 8.

Dado que o átomo é eletricamente neutro, o número de protões (partículas com carga elétrica positiva) é igual ao número de eletrões (partículas com carga elétrica negativa). Assim:

O número de eletrões do átomo A é 8, do átomo B é 9 e do átomo C é 8.

Como o número de massa (A) é numericamente igual à soma do número de protões (que é igual ao número atómico (Z)) e de neutrões (n) existentes no núcleo, $A = Z + n$, então o número de neutrões pode ser obtido pela relação $n = A - Z$. Assim:

$$n(\text{A}) = 16 - 8 = 8; n(\text{B}) = 19 - 9 = 10; n(\text{C}) = 19 - 8 = 11.$$

- 1.3. $Z(\text{D}^+) = 11$, logo D^+ tem 11 protões.

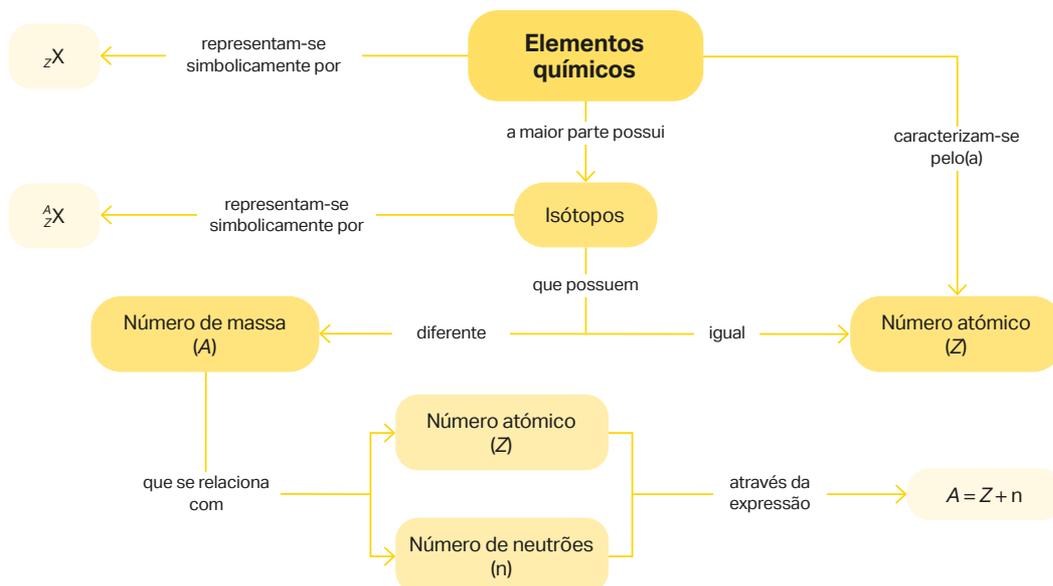
$$n = A - Z, \text{ então } n(\text{D}^+) = 23 - 11 = 12$$

Dado que este ião, de carga +1, tem menos 1 eletrão do que o átomo que lhe deu origem (que teria igual número de protões e eletrões, ou seja, 11), o número de eletrões de D^+ será: $11 - 1 = 10$ eletrões.

- 1.4. As quatro representações correspondem a três elementos químicos diferentes.

Os átomos A e C representam átomos do mesmo elemento, ou seja, isótopos, uma vez que possuem o mesmo número atómico ($Z = 8$) mas diferentes números de massa.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- O **átomo** é uma partícula constituída por:
 - prótões e neutrões, localizados no núcleo, onde se concentra quase toda a massa;
 - eletrões, que rodeiam o núcleo, constituindo uma nuvem eletrónica muito difusa.
- O átomo, embora seja constituído por partículas carregadas eletricamente, é neutro, porque o número de prótões é igual ao número de eletrões.
- O prótão possui uma massa muito superior à do eletrão e carga elétrica positiva; o neutrão tem massa semelhante à do prótão, mas sem carga elétrica; o eletrão tem massa muito reduzida e carga elétrica negativa.
- **Elemento químico** é a designação dada a um conjunto de átomos que se caracterizam por possuírem o mesmo número de prótões.
- O **número atômico (Z)** é igual ao número de prótões existentes no núcleo de um átomo. Um elemento químico, de símbolo X, representa-se simbolicamente por ${}_Z X$.
- O **número de massa (A)** é igual ao número de nucleões (número de prótões e neutrões):

$$A = Z + n$$
- Um átomo de um elemento químico, de símbolo X, representa-se simbolicamente por:

$${}_Z^A X$$
- Átomos com o mesmo número atômico mas diferente número de massa denominam-se **isótopos**.

Exercícios de aplicação

1 Completa corretamente as frases seguintes:

- (A) O átomo é uma partícula eletricamente(1)..... constituída por:
-(2)..... e neutrões, localizados na zona central do átomo, o(3)....., onde se concentra quase toda a(4).....;
 -(5)....., que rodeiam o núcleo, constituindo uma(6)..... eletrónica muito difusa.
- (B) Elemento químico é a designação dada a um conjunto de átomos que se caracterizam por possuírem o mesmo(7)....., que é igual ao número de prótons e de eletrões desses átomos.
- (C) Um átomo de um elemento químico, de símbolo X, representa-se por A_ZX , em que Z representa o(8)..... e A o(9)......
- (D) Os átomos com o mesmo número atómico mas diferente(10)..... designam-se por(11)......

2 Considera as seguintes representações de átomos:



- 2.1. Selecciona a opção que apresenta, respetivamente, o número de prótons, eletrões e neutrões do átomo de Cl.
- (A) 17, 17, 35
 (B) 17, 17, 18
 (C) 17, 18, 35
 (D) 17, 35, 18
- 2.2. Selecciona a opção que dispõe os três átomos por ordem crescente de número de massa.
- (A) Cl < Mg < Ca
 (B) Cl < Ca < Mg
 (C) Ca < Cl < Mg
 (D) Mg < Cl < Ca

3 Considera os átomos representados por letras, que não correspondem aos verdadeiros símbolos químicos.



- 3.1. Identifica, justificando, se existem isótopos no conjunto de átomos apresentados.
- 3.2. Indica o número de prótons, de neutrões e de eletrões do átomo X.

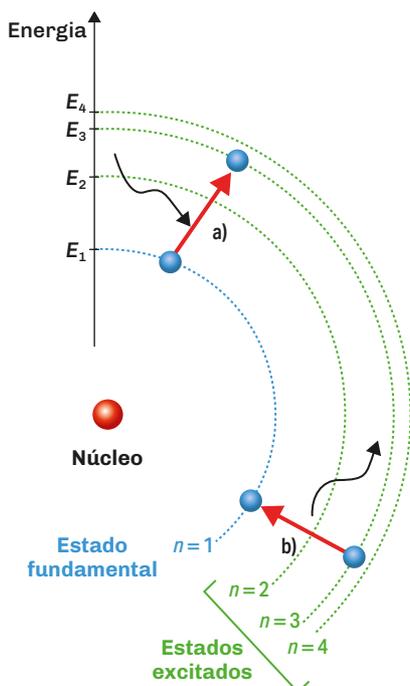
Modelo da nuvem eletrônica e subníveis de energia

Transições eletrônicas e energias envolvidas

Segundo o modelo atômico de Bohr já estudado em anos anteriores:

- O átomo é comparado ao sistema solar, em que os eletrões giram em torno do núcleo em orbitais circulares como os planetas em volta do Sol, que os atrai.
- A energia de um átomo está quantizada, isto é, existem **níveis de energia** no átomo. A cada nível ($n = 1, 2, \dots$) está associado um **valor fixo** de energia (E_1, E_2, \dots). Quanto **mais afastado** do núcleo estiver o eletrão, **maior** será a sua **energia**.
- O estado de um eletrão no nível de **menor energia** (mais estável) designa-se por **estado fundamental** e os restantes estados, de **maior energia**, designam-se por **estados excitados**.
- Na transição de eletrões de um nível para outro por excitação ou desexcitação, a energia, respetivamente, absorvida ou emitida é igual à diferença entre os valores de energia associados a cada um dos níveis.

A energia dos eletrões nos átomos depende da distância em relação ao núcleo. Por absorção ou perda de quantidades de energia bem definidas, os eletrões mudam de posição em relação ao núcleo.



- a) A absorção de radiação com energia bem definida provoca a **excitação** do eletrão (transição do **estado fundamental** para o 2.º **estado excitado**).

$$\Delta E_{\text{eletrão}} = E_2 - E_1$$

- b) A emissão de radiação com a mesma frequência provoca a **desexcitação** do eletrão (transição do 2.º **estado excitado** para o **estado fundamental**).

$$\Delta E_{\text{eletrão}} = E_1 - E_2$$

Fig. 3 Níveis de energia, estados do eletrão e transições eletrônicas para o átomo de hidrogénio.

Por convenção, todas as **energias permitidas para o eletrão serão sempre inferiores a zero** (negativas).

Exercício resolvido

2 O diagrama da **figura 3** refere-se ao átomo de hidrogénio.

Considera a tabela que apresenta os valores das energias associadas aos níveis 1, 2, 3 e 4.

Nível de energia	E/J
$n = 1$	$-2,18 \times 10^{-18}$
$n = 2$	$-5,45 \times 10^{-19}$
$n = 3$	$-2,42 \times 10^{-19}$
$n = 4$	$-1,36 \times 10^{-19}$

2.1 Determina a energia envolvida na transição do nível $n = 1$ para o nível $n = 2$.

2.2 Na transição do nível $n = 1$ para o nível $n = 2$, o eletrão ganhou ou perdeu energia?

2.3 Indica para que nível de energia transita um eletrão no estado fundamental se absorver um fóton de energia igual a $1,938 \times 10^{-18} \text{ J}$.

Resolução:

$$2.1. \Delta E = E_2 - E_1 = -5,45 \times 10^{-19} \text{ J} - (-2,18 \times 10^{-18} \text{ J}) = 1,64 \times 10^{-18} \text{ J}$$

2.2. Na transição do nível $n = 1$ para o nível $n = 2$, o eletrão ganhou energia ($\Delta E > 0$), dado que se tratou de uma excitação eletrónica. O eletrão passou, neste caso, do estado fundamental ($n = 1$) para o primeiro estado excitado ($n = 2$), afastando-se do núcleo.

2.3. Conhecendo o valor da energia envolvida na transição eletrónica, a energia do nível obtém-se por:

$$\Delta E = E_n - E_1 \implies 1,938 \times 10^{-18} \text{ J} = E_n - (-2,18 \times 10^{-18} \text{ J}) \iff$$

$$\iff E_n = 1,938 \times 10^{-18} \text{ J} - 2,18 \times 10^{-18} \text{ J} \iff E_n = -2,42 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Consultando a tabela, verifica-se que $E_3 = -2,42 \times 10^{-19} \text{ J}$. Conclui-se, assim, que o eletrão, ao sofrer uma excitação eletrónica, absorvendo $1,938 \times 10^{-18} \text{ J}$ de energia, transita para o nível $n = 3$.

Modelo da nuvem eletrónica

A existência de níveis de energia e a ocorrência de transições eletrónicas entre níveis, por emissão ou absorção de energias bem definidas, são duas características fundamentais do modelo de Bohr (distinguindo-o do modelo de Rutherford) que prevalecem no modelo atual, designado por **modelo da nuvem eletrónica** ou **modelo quântico**. A **figura 4** esquematiza as principais diferenças entre estes dois modelos.

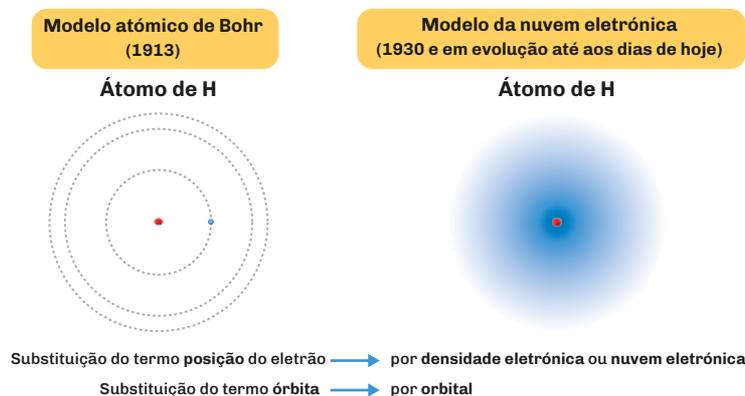


Fig. 4 Principais diferenças entre o modelo atômico de Bohr e o modelo da nuvem eletrônica.

A característica fundamental do modelo da nuvem eletrônica é a não aceitação de uma trajetória bem definida do elétron (a órbita, no modelo de Bohr), mas antes uma probabilidade de encontrar o elétron numa dada zona em torno do núcleo (a orbital).

Orbital – zona do espaço em torno do núcleo do átomo onde existe maior probabilidade de encontrar o elétron.

Nuvem eletrônica – representação da densidade da distribuição de elétrons à volta do núcleo, correspondendo as regiões mais densas (mais perto do núcleo) a maior probabilidade de aí encontrar elétrons.

Subníveis de energia

As orbitais possuem tamanhos e formas diferentes de acordo com os níveis e subníveis de energia a que dizem respeito.

As designações dos subníveis estão associadas às características das riscas dos espectros atômicos de emissão (*sharp, principal, diffuse, fundamental*):

- o primeiro subnível (menos energético) de cada nível de energia é designado por **s**;
- o segundo subnível de cada nível de energia é designado por **p**;
- o terceiro subnível de cada nível de energia é designado por **d**;
- o quarto subnível de cada nível de energia é designado por **f**.

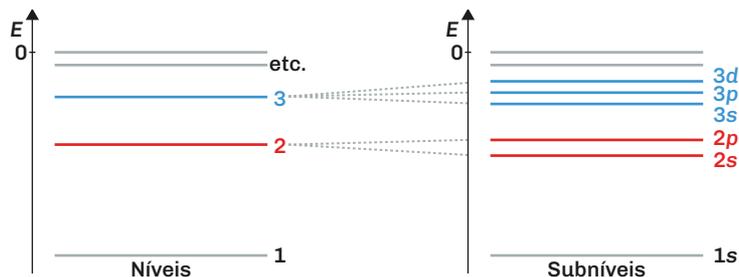


Fig. 5 Energias dos níveis 1, 2 e 3 e subníveis s, p e d.

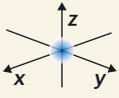
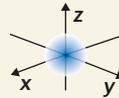
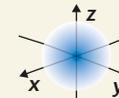
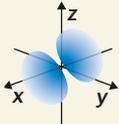
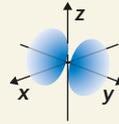
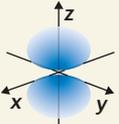
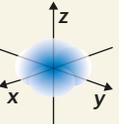
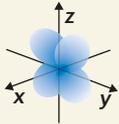
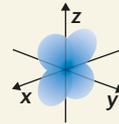
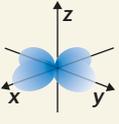
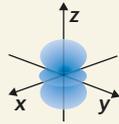
A evidência científica permite confirmar que:

- o primeiro subnível de cada nível – subnível **s** – contém, no máximo, 2 elétrons;
- o segundo subnível de cada nível – subnível **p** – contém, no máximo, 6 elétrons;
- o nível 1 tem apenas um subnível (**1s**);



- o nível 2 tem dois subníveis (**2s** e **2p**);
- o nível 3 tem três subníveis (**3s**, **3p** e **3d**);
- o nível 4 tem quatro subníveis (4s, 4p, 4d e 4f).

Quanto maior for o nível de energia, maior será o tamanho da orbital.

Orbitais do subnível s	 <p>Orbital 1s (subnível s do nível 1)</p>	 <p>Orbital 2s (subnível s do nível 2)</p>	 <p>Orbital 3s (subnível s do nível 3)</p>		
Orbitais do subnível p	 <p>Orbital p_x</p>	 <p>Orbital p_y</p>	 <p>Orbital p_z</p>		
Orbitais do subnível d	 <p>d_{xy}</p>	 <p>d_{yz}</p>	 <p>d_{xz}</p>	 <p>$d_{x^2-y^2}$</p>	 <p>d_{z^2}</p>

Quadro 2 Tamanhos e formas das orbitais de acordo com os níveis e subníveis de energia.

A **forma das orbitais** depende do **subnível de energia**:

- orbitais *s* apresentam forma esférica;
- orbitais *p* (p_x , p_y e p_z) apresentam formas lobulares segundo os eixos *x*, *y* e *z* do espaço tridimensional;
- orbitais *d* apresentam formas variadas mais complexas.

As orbitais do mesmo subnível dizem-se degeneradas por terem a mesma energia.

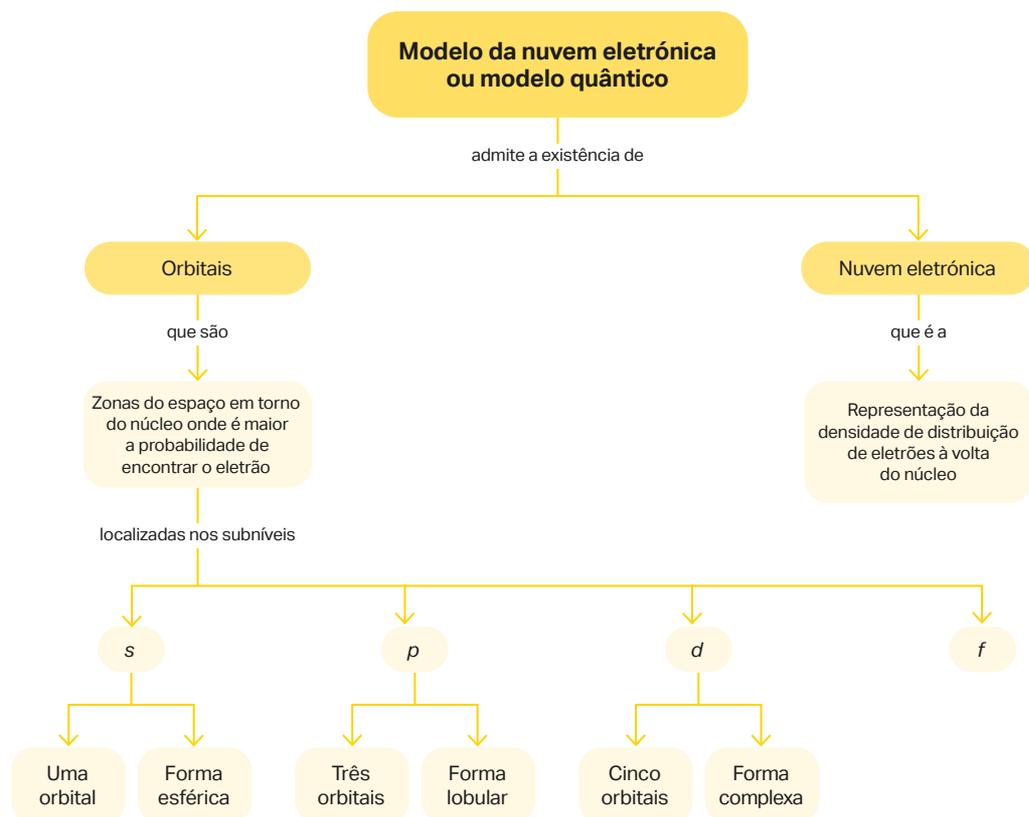
Exercício resolvido

- 3** O árgon, ${}_{18}\text{Ar}$, apresenta os eletrões distribuídos por cinco subníveis de energia, nos quais é possível encontrar orbitais com tamanhos e formas diferentes, de acordo com os respetivos níveis e subníveis de energia.
- 3.1** A que níveis de energia está associado cada um destes subníveis?
- 3.2** Compare o tamanho e a forma das orbitais do tipo *s* dos diferentes níveis de energia.

Resolução:

- 3.1.** O árgon possui os seus 18 eletrões distribuídos em orbitais de cinco subníveis que são: primeiro nível – subnível 1s; segundo nível – subníveis 2s e 2p; terceiro nível – subníveis 3s e 3p. Assim, o árgon possui orbitais do tipo *s* nos níveis 1, 2 e 3 e do tipo *p* nos níveis 2 e 3.
- 3.2.** A forma de todas estas orbitais é esférica. Quanto maior for o nível de energia, maior será o tamanho da orbital. Assim, por ordem crescente de tamanho: $1s < 2s < 3s$.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- De acordo com o **modelo da nuvem eletrônica** (ou modelo quântico) do átomo:
 - uma orbital corresponde à zona do espaço em torno do núcleo do átomo onde existe maior probabilidade de encontrar o elétron;
 - a nuvem eletrônica é uma representação da densidade da distribuição de elétrons à volta do núcleo, onde as regiões mais densas (mais perto do núcleo) indicam maior probabilidade de aí encontrar elétrons.
- O **nível de energia** ($n = 1, 2, 3, \dots$) está associado ao **tamanho da orbital** e à **energia dos elétrons**. Quanto maior for o nível de energia, maior é o tamanho da orbital.
- O **subnível de energia** (s, p e d) está associado à **forma da orbital**, que pode ser esférica (orbitais s), lobular (orbitais p) ou apresentar formas mais complexas (orbitais d).
- As **orbitais de um mesmo subnível** (orbitais do tipo p, d e f) são degeneradas, pois possuem a **mesma energia**.

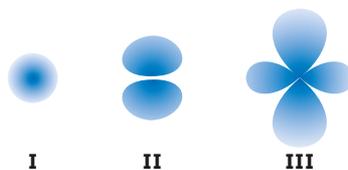
Exercícios de aplicação

1 Completa corretamente as frases seguintes:

- (A) De acordo com o modelo da nuvem eletrônica do átomo, uma⁽¹⁾..... corresponde à zona do espaço em torno do núcleo do átomo onde existe⁽²⁾..... probabilidade de encontrar o elétron, e a nuvem eletrônica é a representação da densidade da distribuição de elétrons à volta do núcleo, onde as regiões⁽³⁾..... densas indicam maior probabilidade de aí encontrar elétrons.
- (B) O⁽⁴⁾..... de energia, n , está associado ao⁽⁵⁾..... da orbital e à energia dos elétrons: quanto⁽⁶⁾..... for o nível de energia, maior é o tamanho da orbital.
- (C) O⁽⁷⁾..... de energia (s , p e d) está associado à forma da orbital (orbitais do subnível s possuem forma⁽⁸⁾....., orbitais p , forma⁽⁹⁾....., e orbitais d apresentam formas mais⁽¹⁰⁾.....).
- (D) As orbitais de um mesmo subnível (p , d e f) são⁽¹¹⁾....., pois possuem a mesma⁽¹²⁾......

2 O boro, ${}_5\text{B}$, possui os seus cinco elétrons distribuídos por três subníveis de energia.

- 2.1.** Identifica os três subníveis.
- 2.2.** A que níveis de energia está associado cada um destes subníveis?
- 2.3.** Qual é o subnível de energia mais próximo do núcleo? E o mais afastado?
- 2.4.** Selecciona a opção que completa corretamente a frase seguinte.
As orbitais de um mesmo subnível de energia designam-se por degeneradas, pois...
- (A) possuem menores valores de energia.
(B) contêm elétrons mais energéticos.
(C) possuem a mesma energia.
(D) ocupam posições mais afastadas do núcleo.
- 2.5.** Os modelos I, II e III representam a forma de algumas orbitais.



Indica o diagrama que pode representar a forma da orbital correspondente aos subníveis $1s$ e $2p$, respetivamente.

Configuração eletrônica dos átomos

No 9.º ano aprendeste a fazer a distribuição dos eletrões por níveis de energia, tal como exemplificado na **figura 6** para o sódio (${}_{11}\text{Na}$).

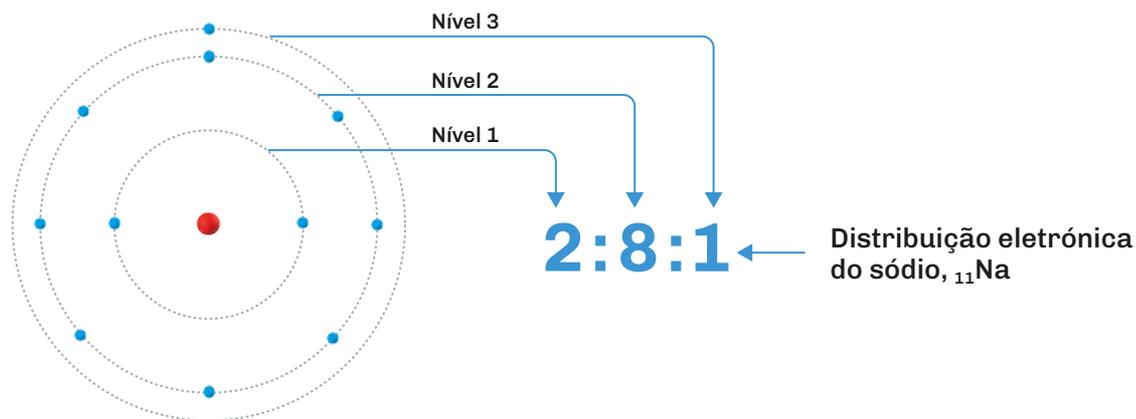


Fig. 6 Representação do modelo de Bohr do átomo de sódio e distribuição eletrônica dos 11 eletrões por níveis de energia.

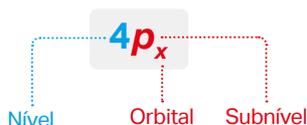
Agora, no 10.º ano, como já sabemos que existem níveis, subníveis e orbitais, ao estabelecer as configurações eletrônicas dos átomos, já é possível distribuir os eletrões por subníveis de energia e orbitais, além dos níveis de energia.

Configuração eletrônica – representação esquemática da distribuição dos eletrões de um determinado átomo (ou ião) pelos diferentes níveis, subníveis e orbitais.

Exemplo da **representação simbólica de um subnível**:



Exemplo da **representação simbólica de uma orbital**:



A configuração eletrônica de um átomo depende do seu estado. Pode referir-se ao estado fundamental ou a estados excitados. Para estabelecer a configuração eletrônica dos átomos no estado fundamental, deve obedecer-se a dois princípios: ao **Princípio da Exclusão de Pauli** e ao **Princípio da Energia Mínima**.

e Manual Digital

Vídeo
Configurações eletrônicas dos átomos

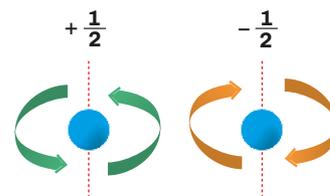


Princípio da Exclusão de Pauli

Experiências com amostras de elementos químicos, colocadas sob a ação de um campo magnético, mostraram que os elétrons, além de se moverem em torno do núcleo, também rodam em volta de si mesmos (*spin*), como um pião. Como têm carga elétrica, têm também propriedades magnéticas e podem, grosseiramente, comparar-se a pequenos ímanes em rotação.

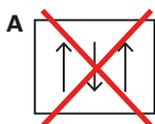
A sua energia também está quantificada e só são possíveis dois estados energéticos, que correspondem aos dois movimentos de rotação opostos. Estes estados de *spin* designam-se pelos valores $+\frac{1}{2}$ e $-\frac{1}{2}$.

Spin (do inglês, girar) é uma propriedade quantizada do elétron (associada ao sentido do seu movimento de rotação em torno do seu eixo), sendo permitidos dois estados diferentes (dois sentidos diferentes), caracterizados por $+\frac{1}{2}$ ou $-\frac{1}{2}$.

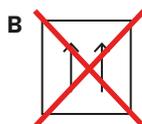


O **Princípio da Exclusão de Pauli** estabelece que em **cada orbital** só podem existir, **no máximo, dois elétrons** com **spins opostos**.

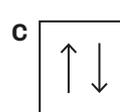
Com o objetivo de facilitar a interpretação deste princípio, é frequente o uso de caixas ou círculos para representar as orbitais e de setas verticais (com dois sentidos) para simbolizar os elétrons.



A orbital tem um elétron a mais (só pode ter dois elétrons).



A orbital tem os dois elétrons com o mesmo *spin* (têm de ter *spins* opostos).



A orbital obedece ao Princípio da Exclusão de Pauli.

Fig. 7 Representações de orbitais e elétrons e o Princípio da Exclusão de Pauli. Neste tipo de diagrama (**diagrama de caixas**), os elétrons com o mesmo valor de *spin* representam-se por setas com o mesmo sentido.

A simbologia mais usual para representar o número de elétrons numa determinada orbital ou subnível de energia, e à qual se recorre para escrever a configuração eletrónica dos átomos, é a que usa letras e números.



Princípio da Energia Mínima

Os elétrons “ocupam” as orbitais disponíveis de modo a conduzirem a um mínimo de energia para o átomo – **Princípio da Energia Mínima**.

Para obedecer a este princípio, a distribuição dos elétrons pelas orbitais deve ser feita de acordo com o diagrama de Pauling da **figura 8**, isto é, de acordo com o **Princípio da Construção**, pelo qual se deduz a configuração eletrônica à medida que se adiciona um elétron à nuvem eletrônica e um próton ao núcleo.

Leitura do diagrama:

Percorrer as diagonais no sentido indicado, colocando o número máximo de elétrons permitido em cada subnível:

- subnível *s* com 2 elétrons (este subnível contém apenas uma orbital);
- subnível *p* com 6 elétrons (este subnível contém três orbitais);
- subnível *d* com 10 elétrons (este subnível contém cinco orbitais);
- continuar a preencher os subníveis até esgotar o número de elétrons que constitui o elemento.

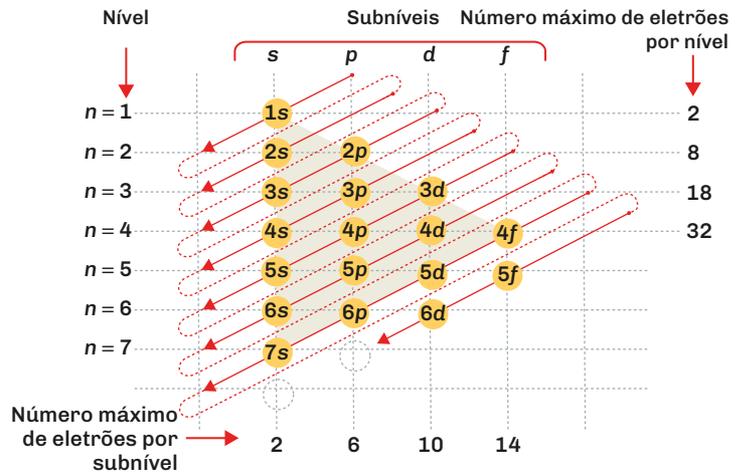


Fig. 8 Diagrama de Pauling.

O **Princípio da Construção** permite escrever a configuração eletrônica dos diferentes átomos de forma que a **energia do átomo seja mínima**, isto é, respeitando o **Princípio da Energia Mínima**.

Considere a **figura 9** com recurso ao diagrama de Pauling para estabelecer a configuração eletrônica do cálcio ($Z = 20$).

No exemplo do cálcio, a distribuição dos 20 elétrons é feita pela seguinte ordem:

- 1s – 2 elétrons;
- 2s – 2 elétrons;
- 2p – 6 elétrons;
- 3s – 2 elétrons;
- 3p – 6 elétrons;
- 4s – 2 elétrons.

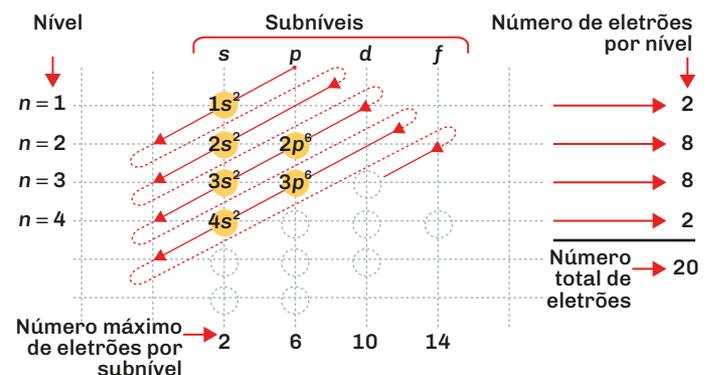


Fig. 9 Diagrama de Pauling para o cálcio ${}_{20}\text{Ca}$.

Distribuição eletrônica do cálcio: ${}_{20}\text{Ca} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$

Usando o mesmo exemplo do cálcio ($Z = 20$), a configuração eletrônica pode ser re-presentada das seguintes formas:

- condensada, em relação às orbitais degeneradas;

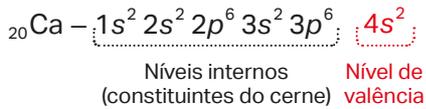
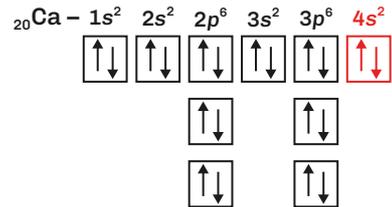
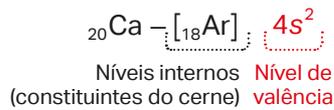


Diagrama de caixas:



- condensada, relativamente ao gás nobre imediatamente anterior.



em que:



Como indicado na configuração eletrônica do cálcio, os elétrons podem localizar-se no:

- cerne** – parte do átomo constituída pelo conjunto do núcleo e dos elétrons mais internos (elétrons que não são de valência).
- nível de valência** – elétrons do nível de energia mais externo (elétrons de valência).

Regra de Hund

No preenchimento das orbitais degeneradas (de igual energia), aplica-se a seguinte regra:

Regra de Hund – no preenchimento das orbitais de igual energia, primeiro semipreenche-se com um elétron cada orbital, de modo a ficarem todos com o mesmo *spin*, e só depois se procede ao preenchimento das orbitais com o segundo elétron, com *spin* oposto.

Usando diagramas de caixas, na **figura 10** apresentam-se alguns exemplos de aplicação desta regra.

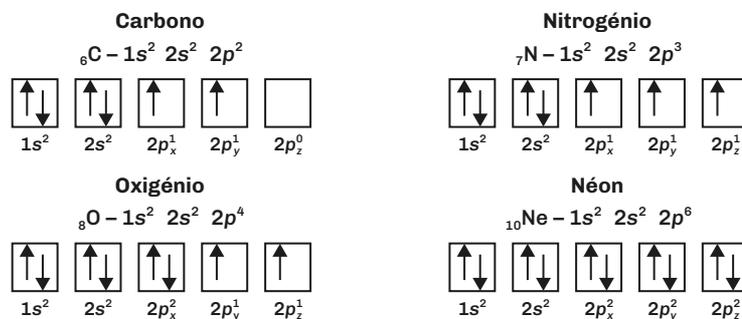
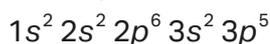


Fig. 10 Diagrama de caixas para os elementos C, N, O e Ne.

Exercícios resolvidos

- 4 O cloro, ${}_{17}\text{Cl}$, no estado fundamental, apresenta a seguinte configuração eletrônica:



- 4.1 Indica o número de níveis e subníveis de energia pelos quais se distribuem os elétrons do átomo de cloro.
- 4.2 Por quantas orbitais se distribuem os elétrons do átomo de cloro?
- 4.3 Identifica a(s) orbital(ais) de valência.
- 4.4 Quantos elétrons possui o átomo de cloro no seu cerne e no nível de valência?

Resolução:

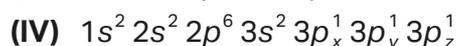
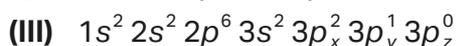
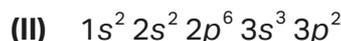
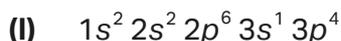
- 4.1. Os elétrons do átomo de cloro, no estado fundamental, “ocupam” três níveis energéticos:
- primeiro nível, $n = 1$, que possui apenas um subnível ($1s$);
 - segundo nível, $n = 2$, com dois subníveis ($2s$ e $2p$);
 - terceiro nível, $n = 3$, com dois subníveis ($3s$ e $3p$).

Assim, os elétrons do cloro distribuem-se por três níveis de energia e por cinco subníveis de energia.

- 4.2. Os subníveis do tipo s possuem uma orbital e os subníveis do tipo p , três orbitais. A partir da configuração eletrônica do cloro, podemos concluir que os seus elétrons se distribuem por três orbitais s ($1s$, $2s$ e $3s$) e seis orbitais p ($2p_x$, $2p_y$, $2p_z$, $3p_x$, $3p_y$ e $3p_z$), ou seja, por nove orbitais no total.
- 4.3. Sendo $n = 3$ o último nível preenchido pelos elétrons do cloro, $3s$, $3p_x$, $3p_y$ e $3p_z$ são as orbitais de valência.
- 4.4. Os elétrons do cerne são os que “ocupam” os níveis internos ao nível de valência e os elétrons de valência são os que “ocupam” o último nível (nível de valência). Assim, o átomo de cloro possui dez elétrons no cerne ($1s^2 2s^2 2p^6$) e sete elétrons no nível de valência ($3s^2 3p^5$).

- 5 O elemento fósforo (P) tem número atômico 15 ($Z = 15$).

Das seguintes configurações eletrônicas:



identifica aquela que:

- 5.1 se refere a um estado excitado;
- 5.2 é impossível por não respeitar o Princípio da Exclusão de Pauli;
- 5.3 é impossível por não respeitar a Regra de Hund;
- 5.4 se refere corretamente ao átomo no estado fundamental.

Resolução:

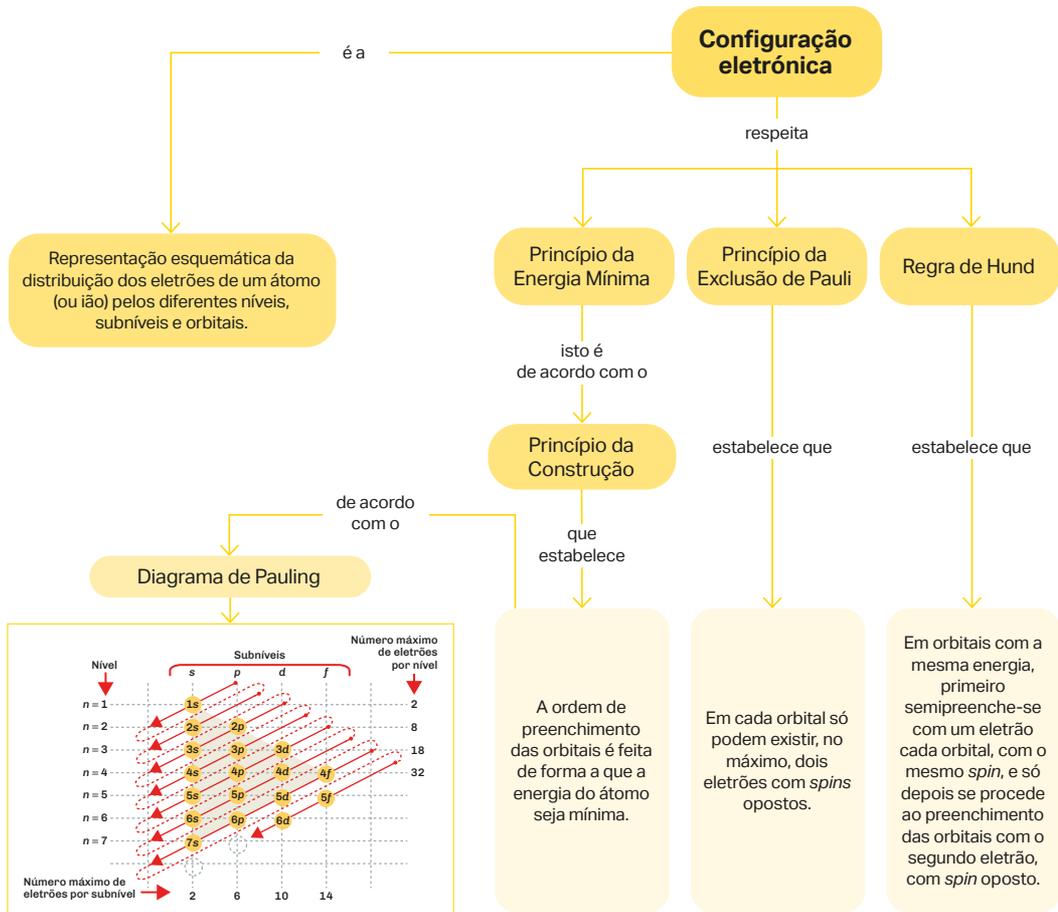
5.1. (I)

5.2. (II)

5.3. (III)

5.4. (IV)

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **configuração eletrônica** é a representação esquemática da distribuição eletrônica de um determinado átomo (ou ião) pelos diferentes níveis, subníveis e orbitais.
- O **Princípio da Exclusão de Pauli** estabelece que em cada orbital só podem existir, no máximo, dois elétrons com *spins* opostos.
- O **diagrama de Pauli** permite que se coloquem os elétrons nas orbitais que conduzem a um mínimo de energia para o átomo.
- A **Regra de Hund** estabelece que, no preenchimento das orbitais com igual energia, primeiro semipreenche-se com um elétron cada orbital, de modo a ficarem todos com o mesmo *spin*, e só depois se procede ao preenchimento das orbitais com o segundo elétron, com *spin* oposto.

Exercícios de aplicação

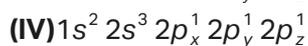
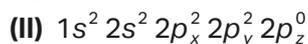
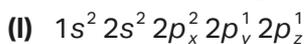
1 Completa corretamente as frases seguintes:

- (A) A⁽¹⁾..... eletrónica é a representação esquemática da distribuição eletrónica de um determinado átomo (ou ião) pelos diferentes⁽²⁾....., subníveis e⁽³⁾....., e deve obedecer a dois princípios e a uma regra.
- (B) O⁽⁴⁾..... estabelece que em cada orbital só podem existir, no máximo, dois eletrões com spins opostos.
- (C) De acordo com o⁽⁵⁾....., num átomo, os vários eletrões vão ocupando os diferentes subníveis e orbitais por ordem crescente de energia.
- (D) A⁽⁶⁾..... estabelece que, no preenchimento das orbitais com igual energia, primeiro semipreenche-se com um eletrão cada orbital, de modo a ficarem todos com o mesmo spin, e só depois se procede ao preenchimento das orbitais com o segundo eletrão, com⁽⁷⁾..... oposto.

2 Completa a tabela seguinte.

Elemento	Configuração eletrónica	N.º de níveis	N.º de subníveis	N.º de orbitais
${}_2\text{He}$				
${}_{10}\text{Ne}$				
${}_{18}\text{Ar}$				
${}_{20}\text{Ca}$				

3 Considera as configurações eletrónicas seguintes relativas ao oxigénio, ${}_8\text{O}$.



Indica a configuração eletrónica que:

- 3.1.** não obedece ao Princípio da Energia Mínima;
- 3.2.** corresponde ao átomo no estado fundamental;
- 3.3.** não respeita o Princípio da Exclusão de Pauli;
- 3.4.** não está de acordo com a Regra de Hund.

Espetros atómicos

Espetros de absorção e de emissão

A **figura 11** apresenta os espetros obtidos, na zona do visível, por decomposição, através de um prisma ótico, da luz emitida por uma lâmpada incandescente (fonte de luz branca) e pelo gás hidrogénio contido num tubo de Plücker.

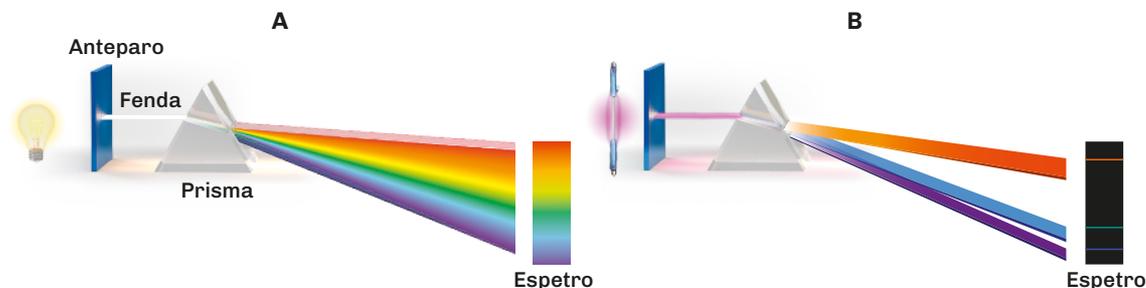


Fig. 11 **A** – espectro de luz visível produzido por uma lâmpada incandescente; **B** – parte do espectro de luz visível produzido pelo gás hidrogénio contido num tubo de Plücker.

O que distingue os dois espetros?

Enquanto o **espectro** obtido pela **luz branca** consiste numa **gradação contínua de cores** sem que haja falhas de luz entre elas, o **espectro do átomo** apresenta um **conjunto de riscas** finas coloridas.

O **espectro da luz branca** é um espectro **contínuo**, enquanto o **espectro atómico** é **descontínuo**.

A que se devem as riscas existentes no espectro atómico?

A resposta a esta questão foi dada por Niels Bohr, em 1913, estando na origem da sua proposta um novo modelo para o átomo que aperfeiçoou o modelo de Rutherford.

O **modelo atómico de Bohr** baseava-se nos seguintes postulados:

- Os eletrões movem-se em órbitas circulares bem definidas em torno do núcleo.
- Às órbitas dos eletrões correspondem energias dos eletrões bem definidas (quantização da energia), que se designam por níveis de energia (n); quanto mais afastado do núcleo estiver, maior será a energia do eletrão. No átomo de hidrogénio:

$$E_n = -\frac{2,18 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ J}$$

- A transição dos eletrões entre níveis de energia só é permitida por absorção (excitação) ou emissão (desexcitação) das quantidades de energia bem definidas.

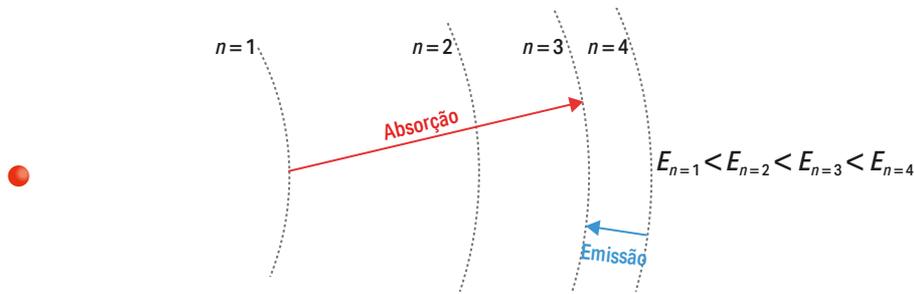


Fig. 12 Para um elétron passar para uma órbita mais afastada do núcleo, é necessário fornecer energia ao átomo. Pelo contrário, se um elétron transitar para uma órbita menos afastada do núcleo, emite energia.

Bohr explicou, à luz do seu modelo atômico, as riscas do espectro atômico do hidrogênio da seguinte forma:

- Por ação do calor, da radiação ou da corrente elétrica, o átomo é excitado e o elétron transita de um nível de energia inferior para um nível de energia superior, com a absorção de uma quantidade de energia bem definida.
- O átomo sofre desexcitação e o elétron regressa ao estado de energia inicial, com a emissão de uma quantidade de energia igual à inicialmente absorvida (**figura 13**). No estado gasoso, em que os átomos estão afastados uns dos outros, a desexcitação só pode ser feita emitindo radiação.
- Como o elétron só pode ocupar níveis de energia discretos, bem separados, as radiações emitidas também têm energias bem separadas, isto é, descontínuas.

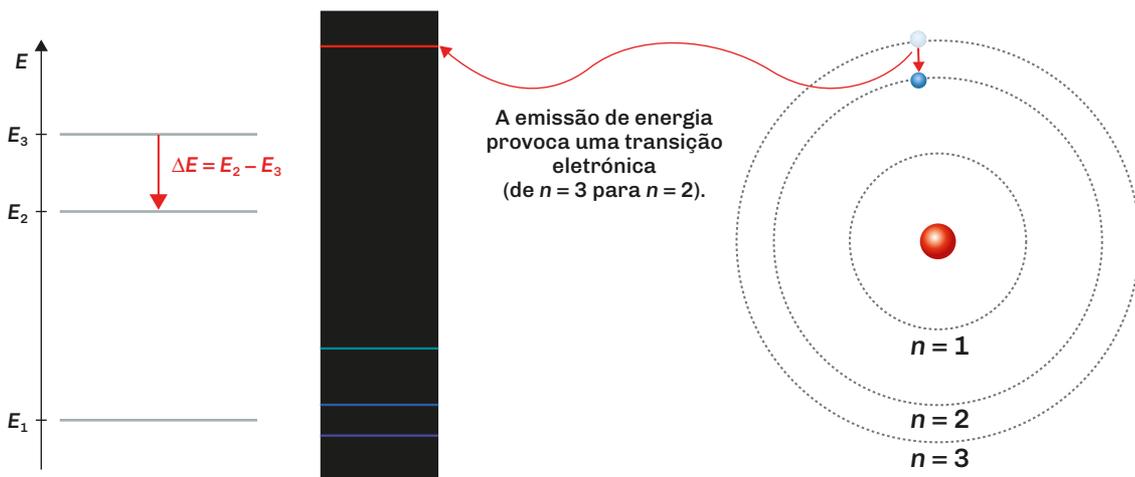


Fig. 13 Emissão de radiação no átomo de hidrogênio associada à transição eletrônica $n = 3 \rightarrow n = 2$.

Um **espectro atômico de emissão** corresponde ao **conjunto das radiações emitidas** pelos elétrons de todos os átomos presentes na amostra durante o processo de **desexcitação eletrônica**.

Identificação de elementos pelo seu espectro

Os espectros atômicos são espectros descontínuos ou de riscas e podem ser de emissão (figura 14) ou de absorção (figura 15).

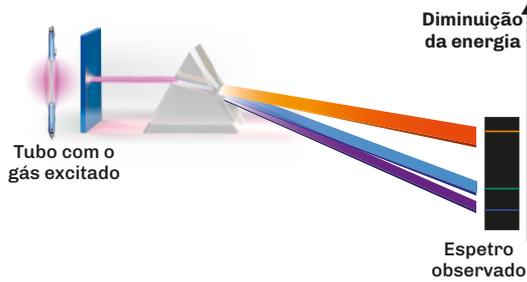


Fig. 14 Espectro de emissão obtido através da decomposição das radiações emitidas por um gás excitado.

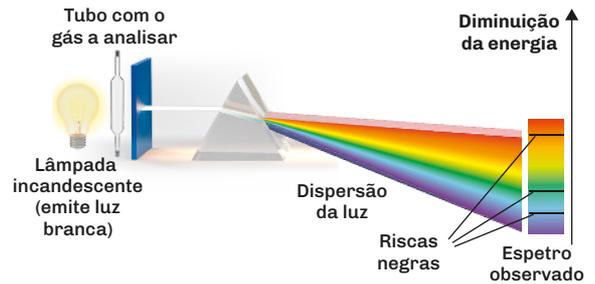


Fig. 15 Espectro de absorção obtido através da absorção de radiação por um gás.

Na zona do visível:

- um **espectro atômico de emissão** (obtido na **desexcitação eletrónica**) caracteriza-se por **linhas coloridas** (ou brilhantes) sobre um **fundo negro**;
- um **espectro atômico de absorção** (obtido na **excitação eletrónica**) caracteriza-se por **linhas negras** sobre um espectro contínuo **colorido**.

Dado que cada elemento químico apresenta uma estrutura atômica característica (diferente número de eletrões distribuídos por diferentes níveis energéticos), também apresentará um conjunto de linhas espectrais (caracterizadas por determinadas energias) único e diferente dos restantes elementos.

Um **elemento químico** numa amostra pode ser **identificado** através da **análise e da comparação de espectros**.

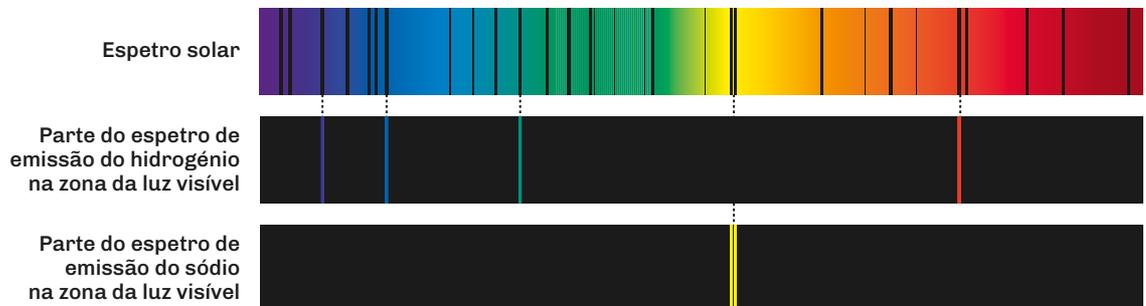


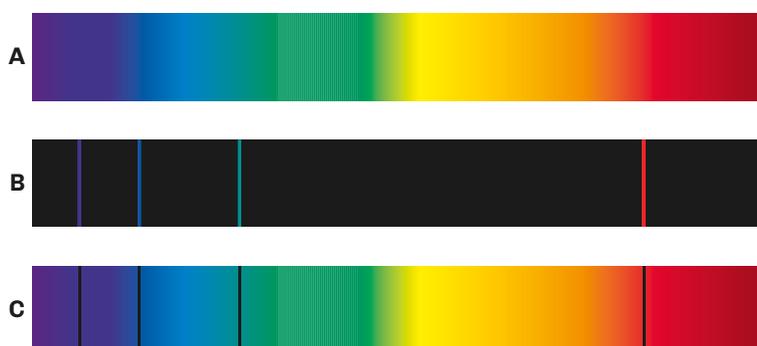
Fig. 16 Comparação do espectro solar com os espectros de emissão dos elementos H e Na. A existência de H e Na na camada exterior do Sol é revelada pela presença das riscas dos espectros desses elementos.

A figura anterior (**figura 16**) apresenta o espectro solar, contínuo de emissão, com sobreposição das riscas de absorção de elementos presentes na parte exterior do Sol, e os espectros de emissão dos elementos hidrogénio (H) e sódio (Na).

Da análise comparativa destes espectros, é possível concluir a existência de hidrogénio e de sódio na parte exterior do Sol, dado que existe uma coincidência entre as “posições” das riscas negras do espectro solar e as “posições” das riscas coloridas dos dois espectros atómicos.

Exercício resolvido

- 6 Considera os espectros A, B e C, obtidos na zona do visível, representados na figura seguinte. O espectro A refere-se à radiação emitida por uma lâmpada de incandescência e os espectros B e C, ao átomo de hidrogénio.



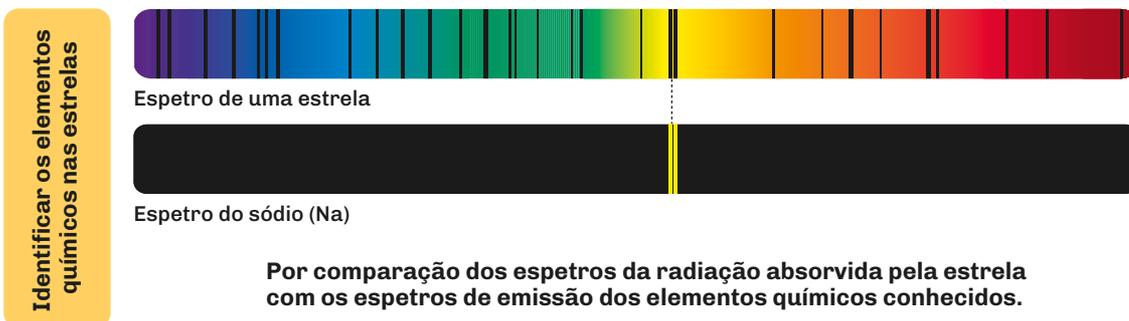
- 6.1 Classifica cada um dos espectros.
- 6.2 Justifica as riscas nos espectros B e C, com base na ocorrência de transições eletrónicas.
- 6.3 Justifica o facto de os espectros B e C corresponderem ao mesmo elemento químico.

Resolução:

- 6.1. A – espectro contínuo de emissão; B – espectro descontínuo (ou de riscas) de emissão; C – espectro descontínuo (ou de riscas) de absorção sobreposto a espectro de emissão contínuo.
- 6.2. As riscas observadas nos espectros B e C correspondem ao conjunto das radiações emitidas, no espectro B, e absorvidas, no espectro C, pelos eletrões durante o processo de transição eletrónica entre níveis energéticos.
- 6.3. O espectro de emissão B apresenta as mesmas riscas (igual posição e intensidade) que o espectro de absorção C, por isso pertencem ao mesmo elemento químico, sendo, neste caso, o hidrogénio.

Aplicações da espectroscopia

A **espectroscopia atômica** é a técnica usada na análise dos elementos químicos de uma amostra através da utilização de espectros. Esta técnica permite não só caracterizar qualitativamente a amostra (identificação da natureza dos elementos químicos presentes, mesmo em quantidades vestigiais), mas também proceder a uma análise quantitativa (determinação das respetivas quantidades). O diagrama seguinte apresenta algumas aplicações da espectroscopia atômica e de outros tipos de espectroscopia (aplicados a moléculas).



Outras aplicações

- Química forense**
 - Análise química analítica de amostras recolhidas em cenas de crime.
 - Método para a determinação de elementos químicos e compostos.
 - Análise de compostos estupefacientes.
- Ambiente**
 - Análise bioquímica, geoquímica e ambiental.
 - Medição da composição do ar e da água em ambientes possivelmente contaminados, para determinar a fonte de contaminação.
- Indústria**
 - Análise de compostos, como o paracetamol e a cafeína.
 - Determinação de concentrações de substâncias (solutos) em soluções aquosas.
 - Produção de novos medicamentos.
 - Controlo de qualidade de produtos finais.
- Nanomateriais**
 - Análise da composição dos nanomateriais.
 - Investigação para produção de novos materiais aplicáveis em áreas como a saúde, a eletrónica, as energias, os transportes, o vestuário e a construção civil.

As cores observadas no fogo de artifício são explicadas com base na espectroscopia atômica. A realização da **Atividade Laboratorial 1**, que tem como propósito identificar elementos químicos em amostras de sais usando testes de chama, irá contribuir para uma melhor compreensão desta temática.

Atividade Laboratorial 1

Objetivo:

Identificar elementos químicos em amostras de sais usando testes de chama.

Material:

- 2 cápsulas de porcelana (+ 5 para o(a) professor(a));
- 2 vidros de relógio (+ 5 para o(a) professor(a));
- 2 espátulas (+ 5 para o(a) professor(a));
- Algodão;
- Espetroscópio de bolso;
- Metanol ou álcool etílico a 96% V/V (guardado num frasco conta-gotas e afastado de chamas);
- Fósforos;
- 5 amostras para o(a) professor(a): cloreto de sódio (NaCl), dicloreto de bário (BaCl_2), dicloreto de cobre(II) (CuCl_2), dicloreto de cálcio (CaCl_2) e dicloreto de estrôncio (SrCl_2);
- 2 amostras para cada grupo de alunos: amostra-problema X e amostra-problema Y (escolhidas pelo(a) professor(a) de entre as discriminadas anteriormente).

Procedimento experimental:

O(A) professor(a) realiza as etapas de 1 a 5 para as amostras identificadas.

- 1 Escurecer a sala o melhor possível.
- 2 Colocar uma pequena porção de cada um dos sais num vidro de relógio, devidamente identificados.
- 3 Embeber um pequeno pedaço de algodão, em forma de bola, em álcool etílico.
- 4 Inflamar o algodão, depois de colocado dentro da cápsula de porcelana, com a ajuda de um fósforo.
- 5 Com a ajuda de uma espátula, colocar uma pequena porção do sal no algodão a arder.
- 6 Observar e registar a cor da chama.
- 7 Apontar o espectroscópio de bolso à chama obtida e observar o respetivo espectro.

Cada grupo realiza as etapas de 8 a 10 para as amostras-problema.

- 8 Repetir as etapas de 3 a 7 para as amostras-problema X e Y.
- 9 Comparar as cores das chamas obtidas com os resultados obtidos nos ensaios realizados pelo(a) professor(a).
- 10 Identificar os elementos metálicos contidos em X e Y.



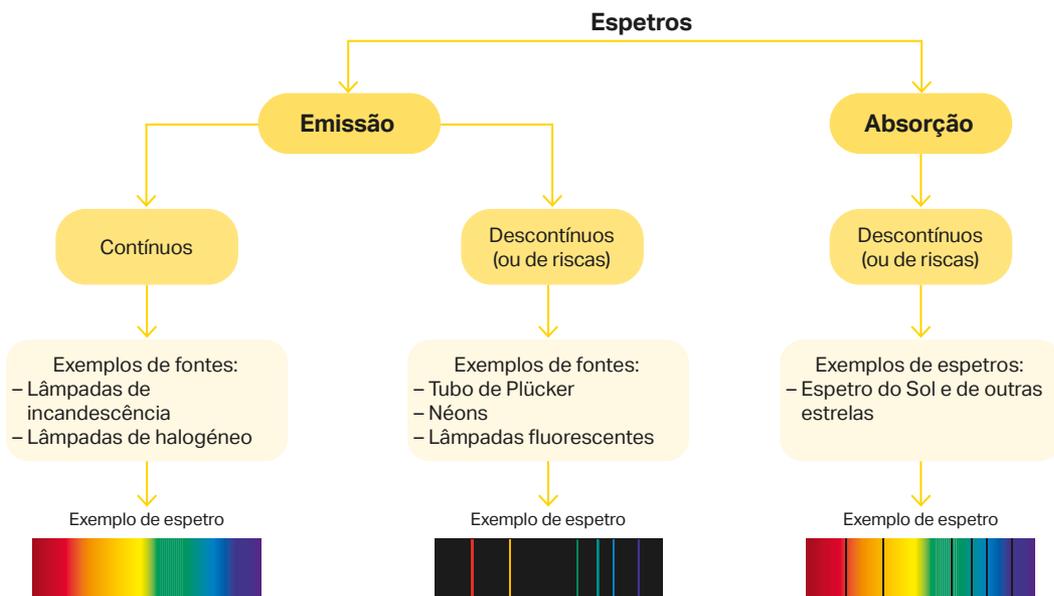
Registo de dados

	Amostra	Cor da chama	Cor das riscas mais intensas	Catião	Elemento
Professor(a)					
Grupo	X				
	Y				

Conclusões

- 1 Identifica, fundamentadamente, as amostras-problema X e Y.
- 2 Explica o fundamento teórico subjacente à emissão de radiação, com cor característica, quando as amostras destas substâncias são levadas à chama.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- O modelo atómico de **Bohr** baseava-se nos seguintes postulados:
 - os eletrões movem-se em órbitas circulares bem definidas em torno do núcleo;
 - as órbitas onde se encontram os eletrões correspondem a quantidades de energia bem definidas (quantização da energia), que se designam por níveis de energia (n); quanto mais afastado do núcleo estiver, maior será a energia do eletrão;
 - a transição dos eletrões entre níveis de energia é acompanhada por absorção (excitação) ou emissão (desexcitação) das quantidades de energia bem definidas.
- Segundo o modelo de Bohr, a descontinuidade dos espectros atómicos deve-se ao facto de as radiações absorvidas ou emitidas durante as transições eletrónicas terem valores bem definidos – **a energia do eletrão está quantizada**.
- Um espectro atómico de **absorção**, obtido a partir da excitação eletrónica, caracteriza-se por **linhas negras** e aparece muitas vezes sobre um espectro contínuo colorido (na zona do visível).
- Um espectro atómico de **emissão**, obtido durante a desexcitação eletrónica, caracteriza-se por **linhas coloridas** (ou brilhantes) sobre um fundo negro.
- Dado que cada elemento químico apresenta uma estrutura atómica característica, também apresentará um conjunto de linhas espectrais único.

Exercícios de aplicação

1 Completa corretamente as frases seguintes:

- (A) No modelo atómico de Bohr, os eletrões movem-se em (1)
circulares bem definidas em torno do núcleo, onde é possível encontrar
eletrões com quantidades de (2) bem definidas, que se
designam por (3) (n) – quanto mais afastado do núcleo estiver,
..... (4) será a energia do eletrão.
- (B) As transições dos eletrões entre níveis de energia são acompanhadas por
..... (5) (excitação) ou emissão (..... (6)) de quantidades de
energia bem definidas.
- (C) O espetro atómico de (7) , obtido a partir da excitação
eletrónica, caracteriza-se por linhas (8) sobre um espetro
..... (9) colorido.
- (D) O espetro atómico de (10) , obtido durante a (11)
eletrónica, caracteriza-se por linhas (12) (ou brilhantes) sobre um
fundo (13)

2 Considera os dois espetros, X e Y, representados a seguir.

2.1. O espetro X é um espetro de emissão ou de absorção? Justifica.

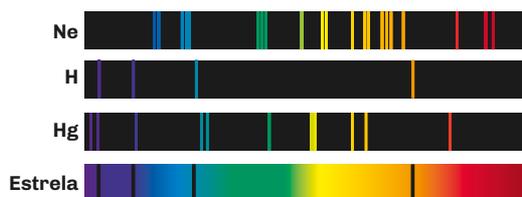


2.2. Selecciona a afirmação verdadeira.

- (A) O espetro X é um espetro contínuo.
- (B) O espetro Y é um espetro contínuo.
- (C) Da comparação dos dois espetros, podemos concluir que ambos se referem ao mesmo elemento químico.
- (D) Da comparação dos dois espetros, podemos concluir que se referem a elementos químicos diferentes.



3 A técnica da espectroscopia permite obter espetros como os da figura ao lado: os espetros dos átomos de Ne, H e Hg e o espetro de uma estrela.



3.1. Selecciona a afirmação verdadeira.

- (A) A estrela pode conter néon, hidrogénio e mercúrio.
- (B) A estrela contém hidrogénio.
- (C) A estrela contém mercúrio.
- (D) A estrela pode conter néon.

3.2. Classifica os espetros atómicos apresentados.

3.3. Qual é o nome da técnica experimental que permite identificar elementos químicos em amostras desconhecidas de sais?

Espetro eletromagnético

Como já relembramos, quando se faz passar luz branca através de um prisma ótico, observa-se o fenômeno da dispersão da luz, que consiste na separação das diferentes cores que formam essa luz, dando origem ao espectro da luz visível.

Este fenômeno, observado pela primeira vez pelo físico inglês Isaac Newton (1643-1727), também acontece quando se forma o arco-íris.

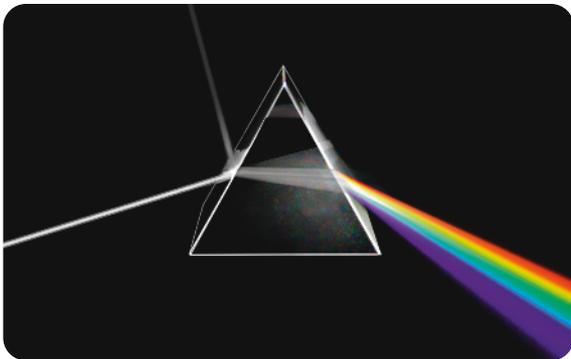


Fig. 17 A luz branca sofre dispersão num prisma, decompondo-se nas diversas cores que a constituem, gerando o espectro da luz branca (ou luz visível).



Fig. 18 A luz branca sofre dispersão nas gotas de água, decompondo-se nas diversas cores que a constituem, gerando o mesmo espectro da luz branca (ou luz visível).

O **espectro da luz visível** (ou luz branca) é o **conjunto das várias radiações monocromáticas**, do violeta ao vermelho, obtido pela **decomposição da luz branca**.

O olho humano apenas consegue detetar a luz visível, que corresponde a uma pequena parte do espectro da radiação eletromagnética.

Ao **conjunto das radiações**, visíveis e invisíveis, **ordenadas de acordo com a sua energia, frequência e/ou comprimento de onda**, atribui-se o nome de **espectro eletromagnético**.

O esquema da **figura 19** da página seguinte ilustra o espectro eletromagnético com exemplos de aplicações práticas no dia a dia de cada uma das radiações.

A radiação eletromagnética pode ser caracterizada como onda ou como um conjunto de partículas designadas por **fotões**.

Da análise do espectro eletromagnético, verifica-se que a cada radiação, ou a cada fóton de uma dada radiação, estão associados determinados valores de **frequência** (f) e de **comprimento de onda** (λ).

Espetro eletromagnético

O espectro eletromagnético não é só constituído pela luz visível. Existem radiações com comprimentos de onda superiores a 700 nm e inferiores a 400 nm que são invisíveis ao olho humano mas possíveis de detetar por diversos equipamentos.

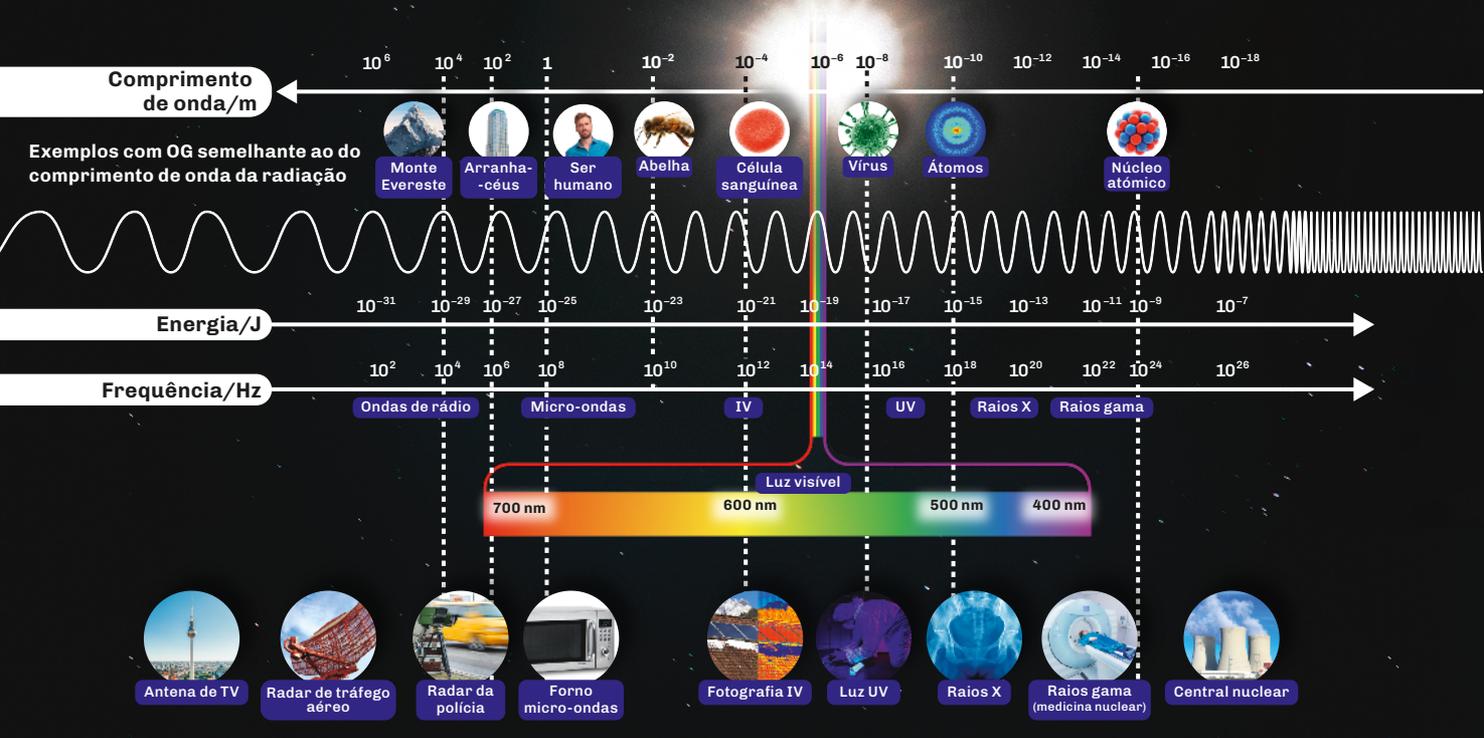


Fig. 19 Espetro eletromagnético: bandas de radiação e principais aplicações.

A relação entre a **energia de um fóton (E)** e a **frequência da radiação (f)** é dada pela equação de Planck (em homenagem a Max Planck), que mostra a proporcionalidade direta existente entre estas duas grandezas:

$$E = hf$$

Energia (J) Constante de Planck (J s) Frequência (Hz)

sendo **h** a **constante de Planck** ($h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s}$).

A **frequência (f)** e o **comprimento de onda (λ)** são grandezas inversamente proporcionais e relacionam-se através da expressão:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Frequência (Hz ou s^{-1}) Comprimento de onda (m) Velocidade da luz no vácuo (m s^{-1})

sendo **c** a **velocidade da luz no vácuo** ($c = 3,00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$).



Vídeos
Espetro
eletromagnético



Radiação
eletromagnética



Exercícios resolvidos

- 7 Classifica em verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das afirmações seguintes.
- (A) A luz é uma radiação eletromagnética.
- (B) O espectro eletromagnético é o conjunto de radiações visíveis, do violeta ao vermelho.
- (C) A radiação ultravioleta é a radiação mais energética do espectro eletromagnético.
- (D) A radiação eletromagnética pode ser caracterizada como uma onda ou como um conjunto de fótons.

Resolução:

7. A e D – verdadeiras;
B e C – falsas.

- 8 Duas radiações monocromáticas, verde e azul, que integram o espectro da luz visível, apresentam comprimentos de onda iguais a 540 nm e 450 nm, respetivamente.

8.1 Qual das duas radiações apresenta maior frequência?

8.2 Determina a energia de cada fóton das radiações.

8.3 A partir da análise da **figura 19**, indica uma radiação invisível com maior energia do que as radiações apresentadas e uma radiação invisível com maior comprimento de onda.

Resolução:

8.1. A radiação azul, por apresentar menor comprimento de onda, é a que possui maior frequência.

$$f_{\text{verde}} = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{540 \times 10^{-9} \text{ m}} = 5,56 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

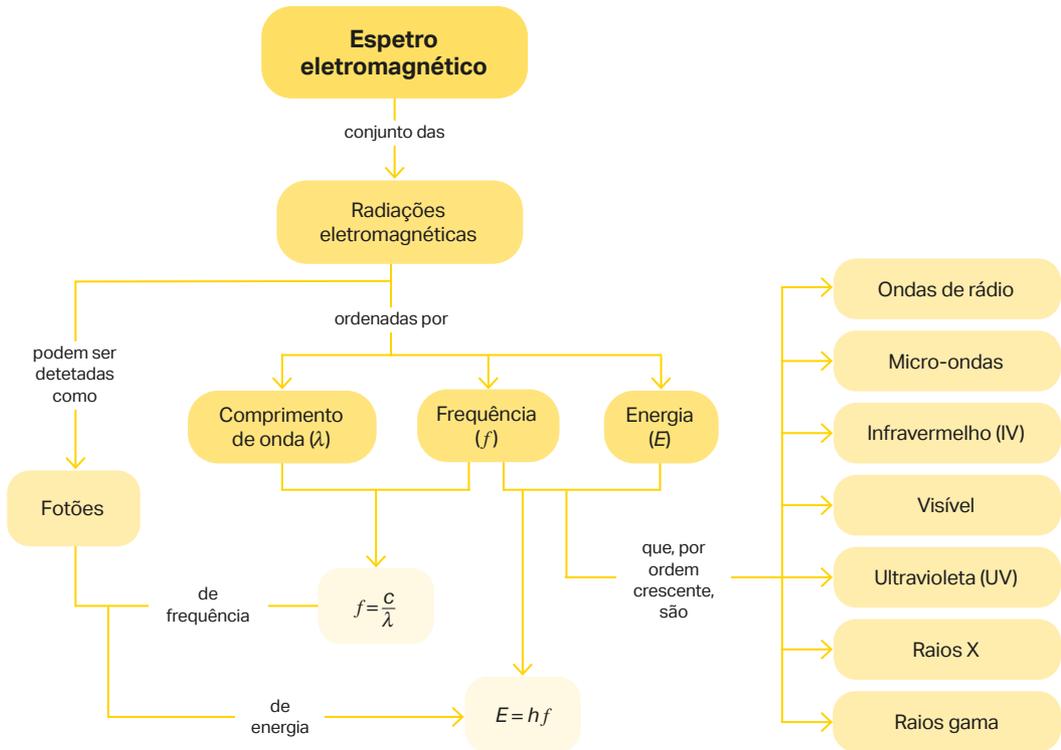
$$f_{\text{azul}} = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{450 \times 10^{-9} \text{ m}} = 6,67 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

8.2. $E_{\text{verde}} = hf_{\text{verde}} = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 5,56 \times 10^{14} \text{ Hz} = 3,69 \times 10^{-19} \text{ J}$

$$E_{\text{azul}} = hf_{\text{azul}} = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 6,67 \times 10^{14} \text{ Hz} = 4,42 \times 10^{-19} \text{ J}$$

8.3. Uma radiação invisível com maior energia são, por exemplo, os raios gama, e uma radiação invisível com maior comprimento de onda (menor frequência ou menor energia) são, por exemplo, as ondas de rádio.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- O **espectro da luz visível** (ou luz branca) é o conjunto das várias radiações monocromáticas, do violeta ao vermelho, obtido pela decomposição da luz branca.
- O **espectro eletromagnético** corresponde ao conjunto das radiações, visíveis e invisíveis, ordenadas pela sua energia, frequência e/ou comprimento de onda.
- A radiação eletromagnética pode ser considerada como uma **onda** ou como um conjunto de **fotões**.
- A relação entre a energia de um fóton e a frequência da radiação é dada pela equação de Planck (em homenagem a Max Planck):

$$E = h \times f$$

- A frequência e o comprimento de onda relacionam-se através da seguinte expressão, sendo c a velocidade da luz no vácuo:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

- O **espectro da luz branca** é um espectro **contínuo**, enquanto os **espectros atômicos** são espectros **descontínuos**.

Exercícios de aplicação

1 Completa corretamente as frases seguintes:

- (A) O espectro da luz visível (ou luz branca) é o conjunto das várias radiações⁽¹⁾..... (do⁽²⁾..... ao vermelho), obtido pela decomposição da luz branca.
- (B) O espectro⁽³⁾..... corresponde ao conjunto das radiações visíveis e⁽⁴⁾....., ordenadas de acordo com a sua energia,⁽⁵⁾..... e/ou comprimento de⁽⁶⁾......
- (C) A relação entre a energia de um fóton e a sua frequência é dada pela equação de Planck, que é traduzida pela expressão⁽⁷⁾......
- (D) As grandezas frequência e comprimento de onda relacionam-se entre si através da expressão:⁽⁸⁾......

2 Na tabela seguinte, apresentam-se os comprimentos de onda de algumas radiações da zona visível do espectro eletromagnético.

Radiação	Comprimento de onda/nm
Violeta	400
Anil	450
Azul	500
Verde	550
Amarela	600
Laranja	650
Vermelha	700

- 2.1.** Calcula a frequência de um fóton de radiação vermelha.
- 2.2.** Calcula a energia de um fóton de radiação violeta.
- 2.3.** Seleciona a opção que dispõe as radiações por ordem crescente de frequência.
- (A) Verde < Amarela < Laranja < Vermelha
 (B) Vermelha < Laranja < Azul < Verde
 (C) Laranja < Verde < Anil < Violeta
 (D) Anil < Azul < Verde < Violeta
- 2.4.** Seleciona a opção que dispõe as radiações por ordem crescente de energia.
- (A) Verde < Amarela < Laranja < Vermelha
 (B) Vermelha < Laranja < Azul < Verde
 (C) Vermelha < Verde < Azul < Violeta
 (D) Anil < Azul < Verde < Laranja

2.2. Estudo sistemático dos elementos químicos

Estabilidade nuclear e abundância relativa dos elementos químicos

Neste subtema vamos começar por estudar reações que envolvem alterações do núcleo dos elementos – reações designadas por **reações nucleares**.

As reações nucleares distinguem-se das reações químicas por ser o núcleo do átomo que sofre transformação (prótons e neutrões reagem dentro do núcleo), enquanto nas reações químicas estão apenas envolvidas alterações da estrutura eletrónica exterior (os eletrões reagem fora do núcleo).

Alguns átomos podem transformar-se noutros átomos através de **reações nucleares**, ocorrendo a transformação dos respetivos núcleos.

Reações nucleares

Destacam-se dois tipos de reações nucleares: a **fusão nuclear** e a **fissão nuclear**.

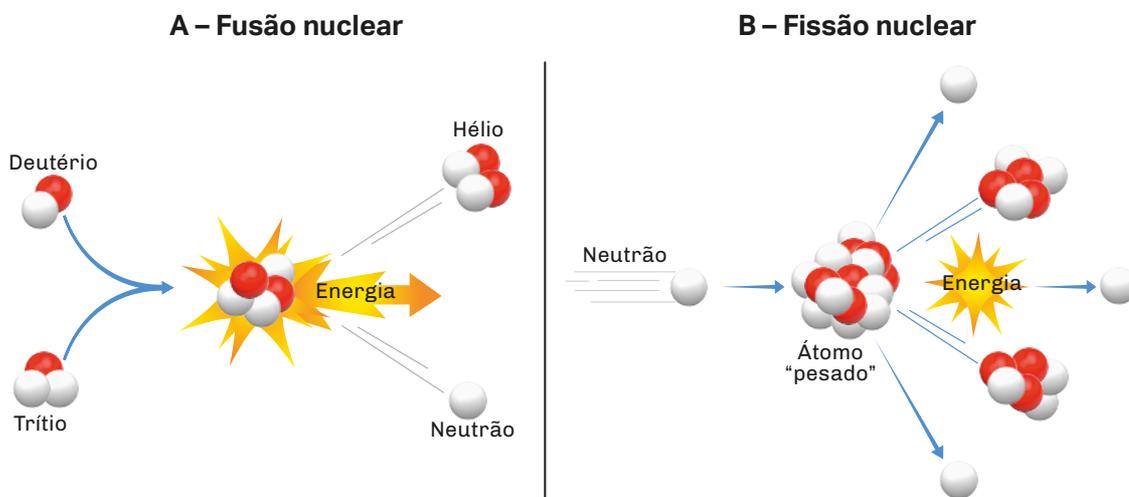


Fig. 20 A – esquema da fusão nuclear; **B** – esquema da fissão nuclear.

Fusão nuclear

A **fusão nuclear (figura 20 A)** é uma reação em que pequenos núcleos se juntam, produzindo núcleos atômicos de maior massa, com a libertação de grande quantidade de energia.

O esquema da **figura 20 A** diz respeito a uma aplicação deste tipo de reações nucleares, de carácter militar, vulgarmente conhecida por bomba de hidrogénio, traduzida pela equação:



em que os núcleos mais pequenos dos isótopos do hidrogénio (${}^2_1\text{H}$ – deutério e ${}^3_1\text{H}$ – trítio), se fundem para dar origem ao núcleo maior do átomo de hélio (${}^4_2\text{H}$) e, ainda, um neutrão (${}^1_0\text{n}$).

A fusão do hidrogénio, dando origem ao hélio e produzindo grande quantidade de energia (que resulta da perda de massa, dada pela relação $E = mc^2$), também acontece no interior das estrelas, como é o caso do Sol. Este processo acontece em várias etapas, como esquematiza a **figura 21**.

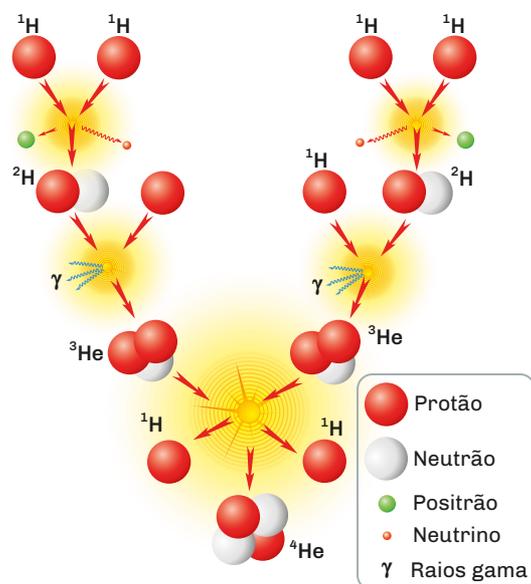


Fig. 21 Esquema da fusão nuclear nas estrelas: síntese de núcleos de hélio a partir de isótopos do hidrogénio. Para o Sol, este tipo de reações irá continuar por mais 5 mil milhões de anos, até que o hidrogénio se esgote.

Fissão nuclear

A **fissão nuclear (figura 20 B)** é uma reação que resulta do bombardeamento dos núcleos de átomos “pesados” por neutrões, originando dois fragmentos de massas semelhantes, emitindo neutrões e libertando uma grande quantidade de energia.

Uma aplicação tecnológica deste tipo de reações consiste na produção de energia em centrais nucleares a partir da energia libertada na fissão controlada de urânio-235 (${}^{235}_{92}\text{U}$):

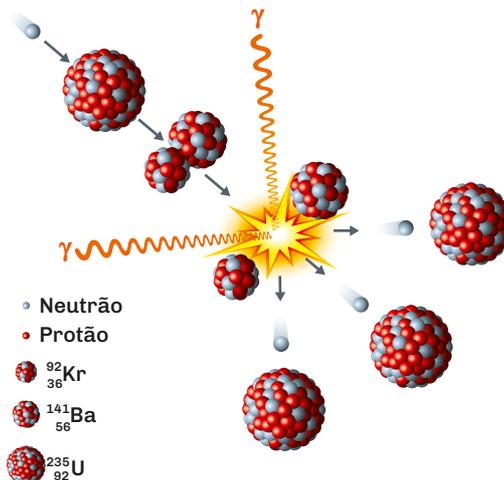
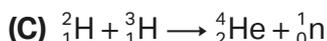


Fig. 22 Esquema da fissão nuclear de ${}^{235}_{92}\text{U}$.

Exercício resolvido

- 9 Identifica, de entre as três equações, aquela que traduz, respetivamente, uma reação química, uma reação nuclear de fissão e uma reação nuclear de fusão.

**Resolução:**

9. (A) Reação química.
 (B) Reação nuclear de fissão.
 (C) Reação nuclear de fusão.

Radioatividade dos elementos

Nem todos os núcleos necessitam de colidir com neutrões para sofrer fissão, como acontece com o urânio-235. Noutros casos, os elementos sofrem uma transformação espontânea dentro do seu próprio núcleo que resulta na formação de novos elementos e de radiação com energia elevada. Este fenómeno é designado por **radioatividade**.

A **radioatividade** é uma manifestação de transformação nuclear que ocorre em átomos com núcleos instáveis, originando espontaneamente novos elementos mais leves e radiação de elevada energia.

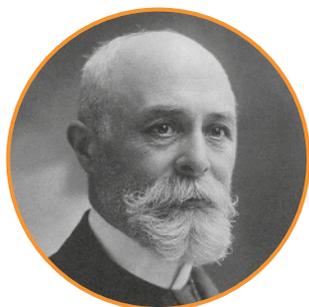


Fig. 23 Sais de urânio e a placa fotográfica que permitiu a Henri Becquerel verificar a emissão de radiação pelos mesmos.

A radioatividade foi descoberta, em 1896, pelo físico francês Henri Becquerel, que constatou que uma amostra de um sal de urânio fazia escurecer uma película fotográfica, inferindo que os sais de urânio emitiam algum tipo de “raio” sem qualquer intervenção exterior. Marie e Pierre Curie identificaram o polónio e, mais tarde, o rádio como elementos igualmente radioativos. Comprovou-se que um núcleo muito energético, por ter excesso de partículas ou de carga, tende a estabilizar-se, emitindo algumas partículas.



Um pouco de história...



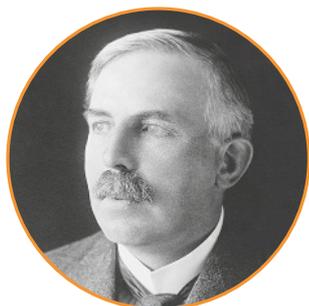
Antoine-Henri Becquerel
(1852-1908)

Em 1903, Becquerel recebeu, juntamente com Marie Curie e o seu marido, Pierre Curie, o Prémio Nobel de Física pela descoberta da radioatividade de alguns elementos, como o rádio e o polónio (em 1898).

Em 1911, Marie Curie ficou na História por se tornar a primeira pessoa a receber pela segunda vez um Prémio Nobel pela descoberta dos elementos rádio e polónio, pelo isolamento do rádio e pelo estudo da natureza e dos compostos deste elemento.



Marie Curie
(1867-1934)



Ernest Rutherford
(1871-1937)

Rutherford estudou a radioatividade do urânio e do tório. Em 1908, recebeu o prémio Nobel de Química pelas suas investigações sobre a desintegração dos elementos radioativos.

Atividade Investigativa 1

Objetivo:

Aprofundar e partilhar conhecimentos sobre os estudos de Becquerel, Curie e Rutherford.

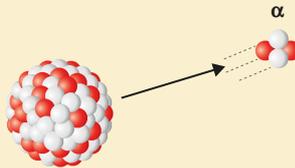
Etapas do desenvolvimento da atividade:

- 1 Dividir a turma em pequenos grupos de trabalho.
- 2 Cada grupo de trabalho escolhe um dos três cientistas.
- 3 Selecionando fontes de pesquisa credíveis e previamente validadas pelo professor, elaborar um texto que explicita os estudos do cientista selecionado no campo da reatividade.
- 4 Depois de o texto ser validado pelo professor, organizar um momento para apresentação dos trabalhos ao grupo-turma, reservando um tempo para debate.

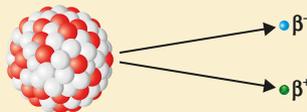
Radiações α , β e γ

O estudo do tipo de radiação emitidas por elementos radioativos (com excesso de energia) de forma a "estabilizá-los" demonstrou que existem três tipos de radiação: alfa (ou partículas α), beta (ou partículas β) e gama (ou raios γ).

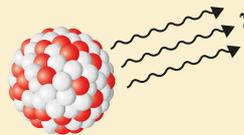
As **partículas α** são **núcleos de hélio-4** (${}^4_2\text{He}^{2+}$) com **energia elevada** emitidos por alguns núcleos instáveis.



As **partículas β** são elétrons (se β^-) ou pósitrons (se β^+) emitidos pelo núcleo. A emissão de radiação β^- acontece quando existe no núcleo um excesso de nêutrons em relação aos prótons e a emissão de radiação β^+ , quando existe um excesso de prótons.



Os **raios γ** são **radiações eletromagnéticas** de **elevada energia** emitidos por núcleos com excesso de energia, geralmente, após a emissão de partículas alfa ou beta.



Estas radiações apresentam poder de penetração nos diferentes materiais de acordo com a **figura 24** e os dados do **quadro 3**.

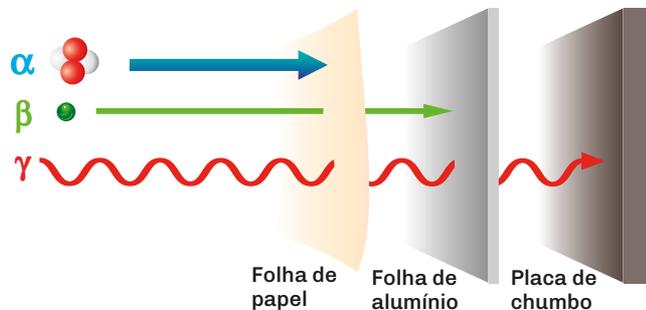


Fig. 24 Tipos de radiação e o poder penetrante através do papel, do alumínio e do chumbo.

Radiações		Carga elétrica	N.º de massa	Massa e energia
Partícula alfa (α)		+ 2	4	Tem baixo poder de penetração (a sua radioatividade pode ser impedida por uma folha de papel) e é, entre as três, a partícula mais pesada.
Partícula beta	β^-	- 1	0	É mais rápida, tem maior poder de penetração e de danificação do que uma partícula alfa e é, aproximadamente, 7 mil vezes mais leve.
	β^+	+ 1		
Raio gama (γ)		0	0	É uma onda eletromagnética (não possui massa) e propaga-se à velocidade da luz. É a mais perigosa e prejudicial das três (a sua radioatividade passa tanto pelo papel como pelo metal). Pode causar danos irreparáveis aos seres humanos.

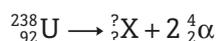
Quadro 3 Características das radiações alfa, beta e gama.

Exercício resolvido

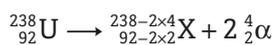
- 10 Identifica o elemento químico obtido após a emissão de 2 partículas alfa por parte do núcleo ${}_{92}^{238}\text{U}$ (Urânio-238).

Resolução:

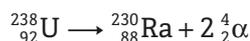
10. As partículas α são núcleos de hélio-4 (${}^4_2\text{He}^{2+}$). Isto é, são partículas com $Z = 2$ e $A = 4$. Para descobrir o elemento químico, teremos de ter em conta que o elemento inicial perde, por cada partícula alfa emitida, 4 unidades do seu número de massa (A) e 2 unidades do seu número atómico (Z):



Assim, como emite 2 partículas alfa:



Consultando a Tabela Periódica, verifica-se que o elemento em causa é o rádio, cujo símbolo é o Ra e o número atómico é 88:



Elementos radioativos

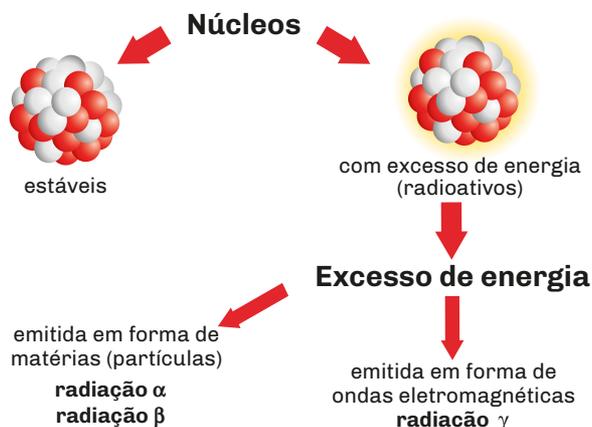
Um núcleo de um átomo é radioativo quando é instável e, para adquirir maior estabilidade, emite partículas ou radiação eletromagnética.

A tendência é que, para elementos com número atómico igual ou superior a 84, todos os isótopos que formem esse elemento sejam radioativos.

Elementos radioativos são aqueles em que todos os seus isótopos são capazes de emitir radiação (alfa, beta e gama) de forma espontânea a partir dos seus núcleos instáveis.

Exemplos de elementos radioativos ($Z \geq 84$):

Polónio (${}_{84}\text{Po}$); Rádón (${}_{86}\text{Rn}$); Rádio (${}_{88}\text{Ra}$); Tório (${}_{90}\text{Th}$); Proactínio (${}_{91}\text{Pa}$); Urânio (${}_{92}\text{U}$).



Já no caso dos elementos químicos que apresentam número atômico inferior a 84, apenas um (ou um número muito reduzido) dos isótopos desses elementos é radioativo.

Exemplos de isótopos radioativos de outros elementos ($Z < 84$):

Hidrogénio-3 ou trítio (${}^3_1\text{H}$): isótopo radioativo do elemento químico hidrogénio. Os seus outros dois isótopos não-radioativos são o prótio (${}^1_1\text{H}$) e o deutério (${}^2_1\text{H}$); Carbono-14 (${}^{14}_6\text{C}$): isótopo radioativo do elemento químico carbono. Os seus outros dois isótopos mais abundantes (${}^{12}_6\text{C}$ e ${}^{13}_6\text{C}$) não são radioativos.

Césio-137 (${}^{137}_{55}\text{Cs}$): isótopo radioativo do elemento químico césio, que apresenta um total de, pelo menos, 39 isótopos. Apenas o césio-133 não é radioativo.

Aplicações da radioatividade

O **quadro 4** apresenta algumas das aplicações atualmente mais importantes da radioatividade.

Áreas de aplicação	Exemplos de aplicação	Exemplos de isótopos radioativos
Medicina	Radioterapia para o tratamento do cancro.	Cobalto-60; iodo-131; samário-153; rádio-224.
Energia e armas nucleares	Combustíveis usados em reatores nucleares para a produção de energia elétrica e, também, infelizmente, no fabrico de armas nucleares.	Urânio-235; plutónio-239.
Arqueologia	Datação de fósseis e rochas.	Carbono-14; potássio-40.

Quadro 4 Algumas aplicações importantes da radioatividade.

Abundância dos elementos na Natureza

A radioatividade de origem natural ou artificial está dispersa no ambiente.

A **radioatividade natural** está presente desde a formação da Terra devido aos elementos radioativos contidos na crosta terrestre (radiação terrestre) e da interação da radiação cósmica com a atmosfera terrestre (radiação cósmica). A atividade humana, como a extração mineira e as práticas industriais que envolvem material radioativo natural, aumentaram a exposição do ser humano à radiação ionizante proveniente de radionuclídeos de origem natural.

Nos primeiros segundos da origem do Universo apenas existiam os dois elementos químicos mais leves: o hidrogénio (elemento mais abundante) e o hélio. Ao longo do tempo, a composição elementar do Universo foi gradualmente alterada, com a conversão do hidrogénio e do hélio em elementos mais “pesados”, através de reações nucleares. Atualmente, sabe-se que a composição do Universo (**figura 25 A**) é praticamente constante.

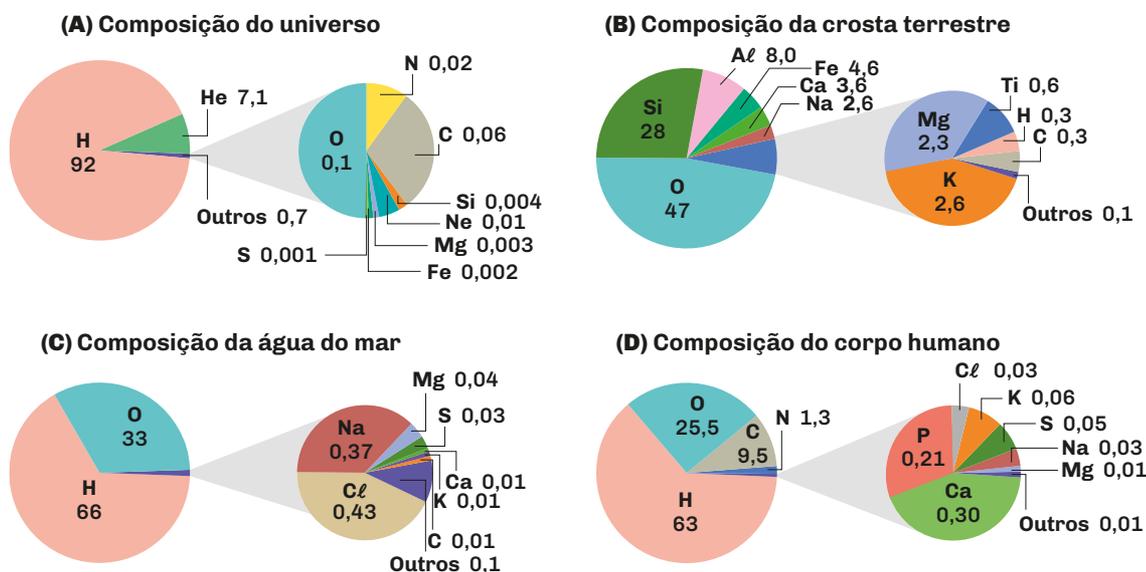


Fig. 25 Percentagem do número de átomos: do Universo (A), da crosta terrestre (B), da água do mar (C) e do corpo humano (D).

A análise e comparação de todos os dados dos gráficos A e B permite inferir que:

Os elementos químicos existem em quantidades muito diferenciadas, sendo o **hidrogénio o mais abundante no Universo**, enquanto o **oxigénio é o mais abundante na crosta terrestre**.

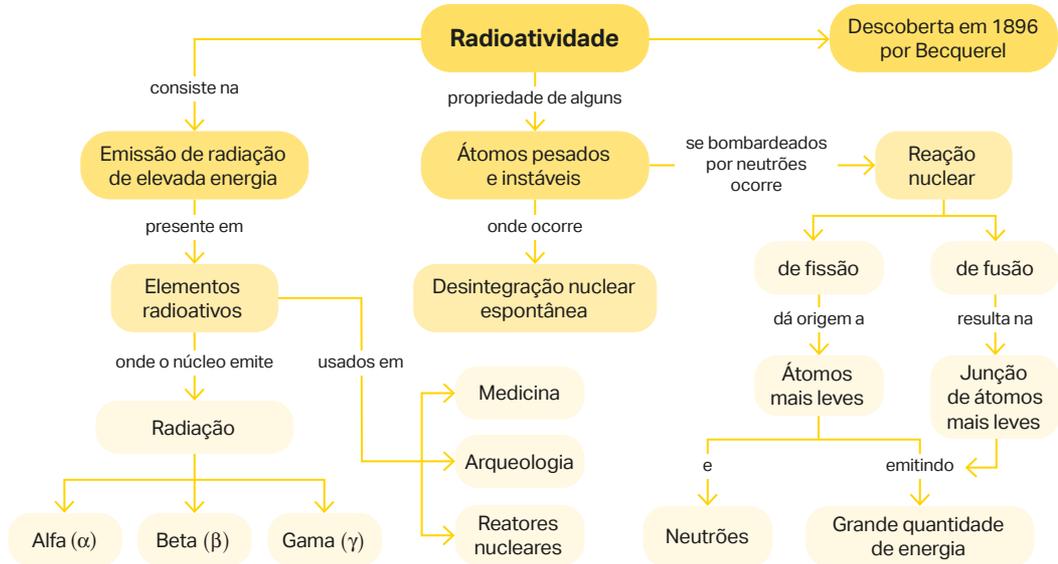
Se compararmos os dados dos gráficos das **figuras 25 A e D**, concluímos que os quatro elementos químicos mais abundantes em organismos vivos, como o corpo humano (hidrogénio, carbono, nitrogénio e oxigénio), juntamente com o hélio (que, sendo um gás nobre, não forma ligações químicas), são justamente os elementos químicos mais abundantes no Universo.



Vídeo
Elementos
químicos no
corpo humano



Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- Alguns átomos podem transformar-se noutros átomos através de **reações nucleares** de **fusão** ou de **fissão** ocorrendo transformação dos respectivos núcleos.
- A **reação nuclear de fusão** é uma reação em que **pequenos núcleos se juntam** produzindo **núcleos de maior massa**, com **libertação de grande quantidade de energia**.
- A **reação nuclear de fissão** é uma reação em que se bombardeiam com nêutrons os **núcleos de átomos "pesados"**, originando dois **fragmentos de massas semelhantes**, a emissão simultânea de **nêutrons** e a **libertação de grande quantidade de energia**.
- A **radioatividade** é uma manifestação de transformação nuclear que ocorre em átomos com **núcleos instáveis**, originando novos **elementos mais leves** e **radiação de elevada energia** (α , β e γ).
- As **partículas α** são núcleos de hélio-4 (${}^4_2\text{He}^{2+}$), com energia elevada, emitidos por alguns núcleos instáveis. Têm baixo poder de penetração e são, entre as três radiações (alfa, beta e gama), as partículas mais pesadas.
- As **partículas β** são elétrons (se β^-) ou pósitrons (se β^+) emitidas pelo núcleo. A emissão de radiação β^- acontece quando existe no núcleo um excesso de nêutrons em relação aos prótons; a emissão de radiação β^+ ocorre quando existe um excesso de prótons. Têm maior poder de penetração e danificação do que as partículas alfa.
- Os **raios γ** são radiações eletromagnéticas, de elevada energia emitidas por núcleos com de excesso de energia. São as mais perigosas e prejudiciais das três radiações.
- **Elementos radioativos** são aqueles em que todos os seus isótopos são capazes de **emitir radiação** de forma espontânea a partir dos seus **núcleos instáveis**.
- O **hidrogénio** é o **elemento mais abundante no Universo** e o **oxigénio** é o **mais abundante na crosta terrestre**.

Estrutura da Tabela Periódica: blocos s, p e d

Vamos agora aprofundar os conhecimentos adquiridos no 9.º ano sobre a relação entre a estrutura eletrônica dos átomos, a organização da Tabela Periódica (frequentemente abreviada para TP) e as propriedades dos átomos dos elementos.

Em **1817**, organizou os elementos em “tríades” (grupos) de elementos com propriedades semelhantes. Exemplo: lítio, sódio e potássio ou cálcio, estrôncio e bário ou, ainda, cloro, bromo e iodo. A massa atômica do elemento central da “tríade” era a média das massas atômicas dos outros dois elementos.

Li	Ca	Cl
Na	Sr	Br
K	Ba	I

Limitação:

Muitos elementos não podiam ser agrupados em “tríades”.

Em **1863**, organizou os elementos por “oitavas”.

A cada oito elementos, colocados em linhas horizontais, observa-se uma repetição das propriedades químicas do primeiro elemento considerado – “lei das oitavas”. Surgiu, assim, a noção de período.

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt & Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 29	Ag 37	Cs 44	Os 51
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 25	Cd 31	Ba & V 38	Hg 52
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta & V 45	Tl 53
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 46	Pb 54
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	To 43	Au 49	Th 56

Limitação: Esta lei apenas funcionava corretamente para as duas primeiras “oitavas”.

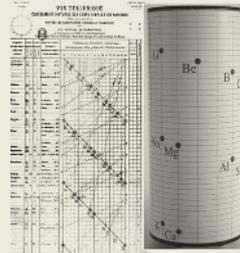
Em **1789**, com os contributos de Guyton de Morveau, deu a conhecer uma lista de elementos dividida em vários “conjuntos”: cromometais, gases, ácidos e elementos terrosos. Construiu uma tabela com 33 elementos.

Limitação: Não conseguiu classificar os elementos tendo em conta uma propriedade específica dos mesmos.

Em **1862**, criou o “parafuso telúrico”, colocando os elementos químicos por ordem crescente das suas massas atômicas, numa linha espiralada de 45° traçada sobre a superfície lateral de um cilindro. Verificou que os elementos químicos com propriedades semelhantes se situavam sobre a mesma geratriz do cilindro.

Limitação:

Não conseguiu classificar os elementos tendo em conta uma propriedade específica dos mesmos.



Antoine Lavoisier
(1743-1794)



Johann W. Döbereiner
(1780-1849)



Alexandre-Émile Chancourtois
(1820-1886)



John Newlands
(1837-1898)

Fig. 26 Contributos de vários cientistas para a construção da Tabela Periódica atual.

A descoberta dos diferentes elementos químicos foi o primeiro passo para a construção da TP que hoje conhecemos. Na **figura 26** resume-se a contribuição de vários cientistas ao longo dos tempos na construção da TP que hoje é universalmente adotada.

Criou um gráfico – “curva de Lothar Meyer” – que relacionava o volume atômico dos elementos com as suas respetivas massas atômicas relativas. A última versão da proposta surge em **1868**. A partir da curva de Meyer foi possível classificar periodicamente os elementos, provando, definitivamente, que estes têm propriedades semelhantes.

Limitação: Não fez distinção entre elementos e substâncias elementares. Não previu as propriedades dos elementos que ocupariam os lugares vazios.

MEYER'S TABLE OF 1868.

1	2	3	4	5	6	7	8
		Al=27,3 Si=28,2	Al=27,3				Cu=63,5 Zn=65,2 Ag=107,9 Au=196,6 Hg=200,6
Cr=52,0	Mn=55,1 Fe=56,0 Co=58,9 Ni=58,7	P=31,0 S=32,07 Cl=35,46 Br=79,9 I=126,9	Ca=40,08 Sc=44,96 Ti=47,9 V=50,9 Cr=52,0 Mn=55,1 Fe=56,0 Co=58,9 Ni=58,7 Cu=63,5 Zn=65,2 Ga=70,3 Ge=72,6 As=74,9 Se=78,96 Br=79,9 Kr=83,8 Rb=85,4 Sr=87,62 Y=88,91 Zr=91,22 Nb=92,91 Mo=95,94 Tc=98,906 Ru=101,07 Rh=102,905 Pd=106,368 Ag=107,868 Cd=112,411 In=114,818 Sn=118,710 Sb=121,757 Te=127,60 I=126,905 Xe=131,29 Ba=137,327 La=138,905 Ce=140,12 Pr=140,907 Nd=144,242 Pm=144,9128 Sm=150,36 Eu=151,964 Gd=157,25 Tb=158,9253 Dy=162,50 Ho=164,9303 Er=167,259 Tm=168,9304 Yb=173,054 Lu=174,967				

Em **1869**, colocou os elementos por ordem crescente das suas massas atômicas, distribuindo-os em 8 colunas verticais e 12 linhas horizontais.

As vantagens da tabela de Mendeleev sobre as anteriores eram: exibia semelhanças verticais e horizontais e não apenas em pequenos conjuntos, como as “tríades”; previa a existência de novos elementos e suas propriedades físico-químicas, como o escândio, o gálio e o germânio, que ainda não tinham sido descobertos.

Limitação: Os elementos eram agrupados em função da massa atômica (por esta ordem, o argon deveria ser um metal alcalino e o sódio um gás nobre).

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.
ОСНОВАННОЙ НА ВЪЗЪ АТОМНОГО ВѢСЪ И ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВЪ.

Tl=204,4	Zn=65,2	Y=88,9	Bi=208,98	Pb=207,2
V=50,9	Nb=92,9	Te=127,6	As=74,9	Se=78,96
Cr=52,0	Mo=95,9	Br=79,9	Sb=121,7	Sn=118,7
Mn=55,1	Tc=98,9	Ru=101,1	Rh=102,9	Pd=106,4
Fe=56,0	Rh=102,9	Pt=195,08	Au=196,6	Hg=200,6
Co=58,9	Pd=106,4	Ag=107,87	Cd=112,4	In=114,8
Ni=58,7	Ag=107,87	Cd=112,4	Sn=118,7	Sb=121,7
Cu=63,5	Cd=112,4	In=114,8	Te=127,6	Bi=208,98
Zn=65,2	In=114,8	Te=127,6	Pb=207,2	
Ga=70,3	Te=127,6	Pb=207,2		
Ge=72,6	Pb=207,2			
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96				
Br=79,9				
K=39,1				
Ca=40,08				
Sc=44,96				
Ti=47,9				
V=50,9				
Cr=52,0				
Mn=55,1				
Fe=56,0				
Co=58,9				
Ni=58,7				
Cu=63,5				
Zn=65,2				
Ga=70,3				
Ge=72,6				
As=74,9				
Se=78,96			</	

Atividade Investigativa 2

Objetivo:

Aprofundar e partilhar conhecimentos sobre os contributos dos diferentes cientistas na construção da Tabela Periódica atual.

Etapas do desenvolvimento da atividade:

- 1 Dividir a turma em pequenos grupos de trabalho.
- 2 Cada grupo de trabalho escolhe um dos cientistas identificados na **figura 26**.
- 3 Selecionando fontes de pesquisa credíveis e previamente validadas pelo professor, elaborar um texto que explicita mais aprofundamente os contributos do cientista selecionado na construção da TP atual, identificando as limitações e os avanços alcançados.
- 4 Depois de o texto ser validado pelo professor, organizar um momento para a apresentação dos trabalhos ao grupo-turma, reservando um tempo para debate.

Grupos, períodos e blocos

Atualmente, são conhecidos 118 elementos, organizados na Tabela Periódica por ordem crescente do número atómico (Z), em linhas horizontais e verticais, de modo que as suas propriedades se repitam periodicamente à medida que se percorre a tabela. A organização da TP está relacionada com as distribuições eletrónicas dos átomos dos elementos. Na **figura 27** apresentam-se as informações características que constam na TP para o exemplo do elemento químico hidrogénio.

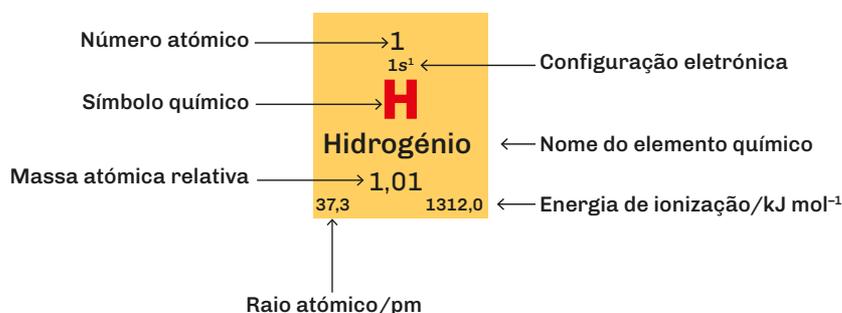


Fig. 27 O elemento hidrogénio na Tabela Periódica.

Os 118 elementos organizam-se na Tabela Periódica em 18 colunas e 7 linhas.

Grupo – conjunto de elementos da mesma coluna da TP. Os grupos apresentam-se numerados de 1 a 18.

Período – conjunto de elementos da mesma linha da TP. Os períodos apresentam-se numerados do 1.º ao 7.º.



Vídeo
Grupos da
Tabela Periódica:
propriedades
químicas



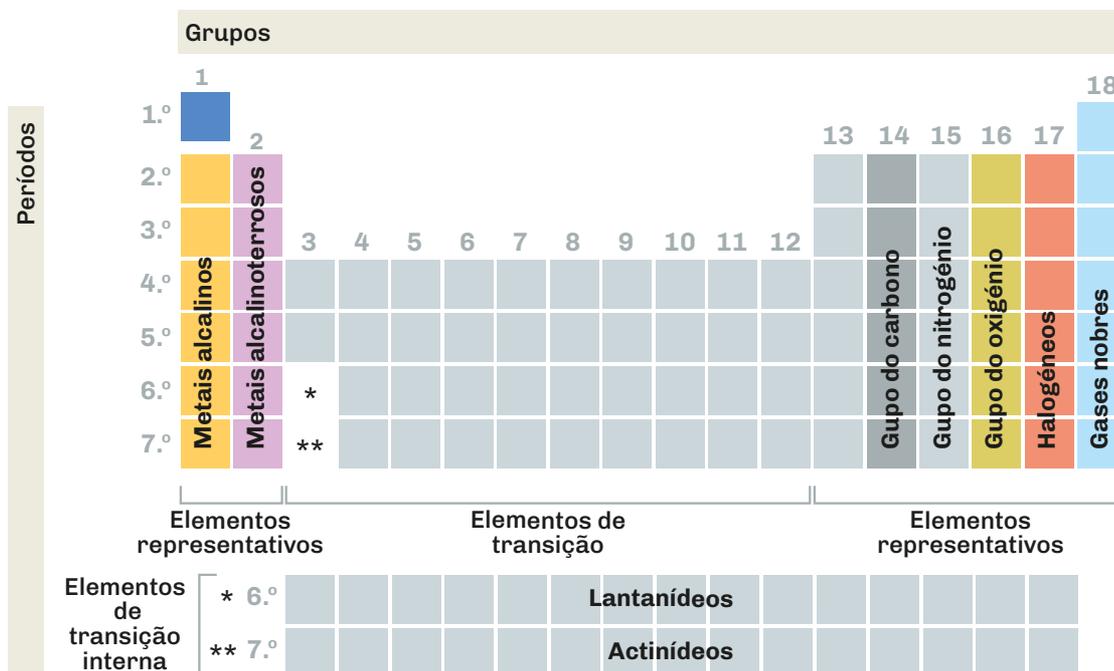


Fig. 28 Grupos e períodos da TP.

Na Tabela Periódica, os elementos também se encontram organizados por blocos.

Blocos – quatro conjuntos de elementos: blocos *s*, *p*, *d* e *f*.

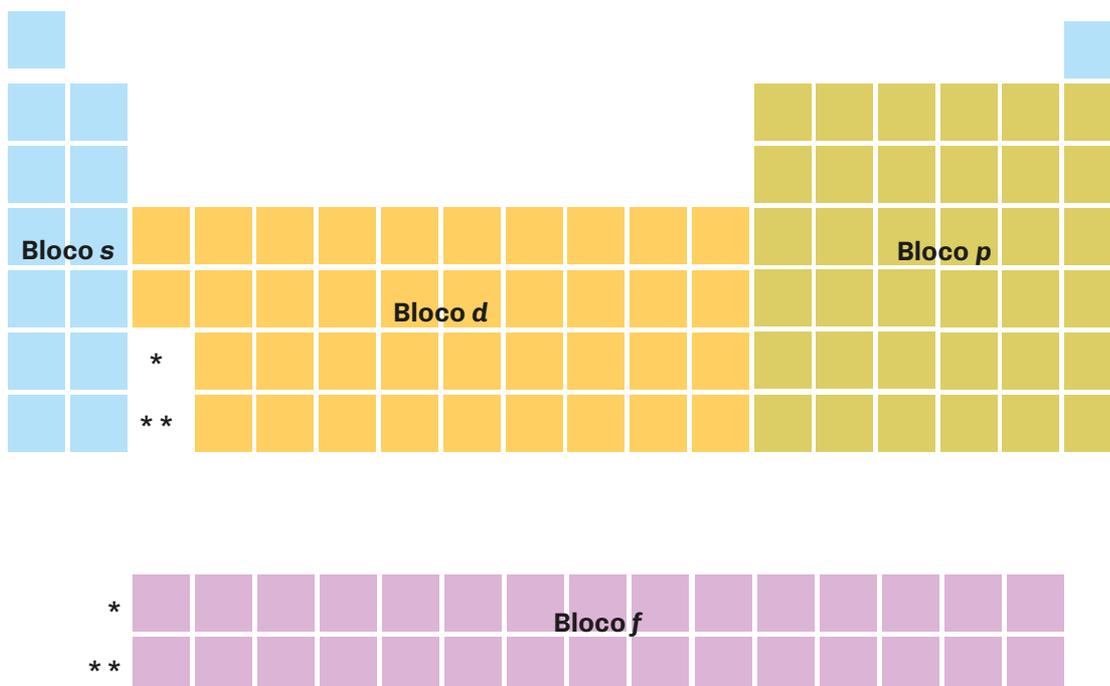


Fig. 29 Organização dos blocos na TP. Os elementos dos blocos *s* e *p* também se designam por elementos representativos. Os elementos dos blocos *d* (salvaguardando algumas exceções) e *f* designam-se por elementos de transição e de transição interna, respetivamente.

Configuração eletrônica e localização na Tabela Periódica

A organização dos elementos na TP relaciona-se com as suas propriedades físicas e químicas, que, por sua vez, são determinadas pelas suas configurações eletrônicas.

Por exemplo, as substâncias elementares constituídas por elementos do grupo 1 apresentam brilho metálico (por serem metais) e, quando reagem com a água, originam soluções alcalinas, denominando-se, por isso, por metais alcalinos.

A posição dos elementos na Tabela Periódica depende da sua configuração eletrônica.

O que têm em comum as configurações eletrônicas dos elementos de um mesmo grupo? E de um mesmo período? E de um mesmo bloco?

Na **figura 30** estão representadas as configurações eletrônicas de valência dos elementos representativos da Tabela Periódica.

		Grupos							
		1	2	13	14	15	16	17	18
Períodos	1.º	$1s^1$							$1s^2$
	2.º	$2s^1$	$2s^2$	$2s^2 2p^1$	$2s^2 2p^2$	$2s^2 2p^3$	$2s^2 2p^4$	$2s^2 2p^5$	$2s^2 2p^6$
	3.º	$3s^1$	$3s^2$	$3s^2 3p^1$	$3s^2 3p^2$	$3s^2 3p^3$	$3s^2 3p^4$	$3s^2 3p^5$	$3s^2 3p^6$
	4.º	$4s^1$	$4s^2$	$4s^2 4p^1$	$4s^2 4p^2$	$4s^2 4p^3$	$4s^2 4p^4$	$4s^2 4p^5$	$4s^2 4p^6$
	5.º	$5s^1$	$5s^2$	$5s^2 5p^1$	$5s^2 5p^2$	$5s^2 5p^3$	$5s^2 5p^4$	$5s^2 5p^5$	$5s^2 5p^6$
	6.º	$6s^1$	$6s^2$	$6s^2 6p^1$	$6s^2 6p^2$	$6s^2 6p^3$	$6s^2 6p^4$	$6s^2 6p^5$	$6s^2 6p^6$
	7.º	$7s^1$	$7s^2$	$7s^2 7p^1$	$7s^2 7p^2$	$7s^2 7p^3$	$7s^2 7p^4$	$7s^2 7p^5$	$7s^2 7p^6$

Fig. 30 Configurações eletrônicas de valência dos elementos representativos (blocos s e p) da TP.

Recorda que:

Grupo	Elétrons de valência	Período	Nível de energia mais elevado	Bloco	Última orbital de valência
1	1	1.º	Nível 1 ($n = 1$)	s	Do tipo s
2	2	2.º	Nível 2 ($n = 2$)	p	Do tipo p
13	3	3.º	Nível 3 ($n = 3$)	d	Do tipo d
14	4	4.º	Nível 4 ($n = 4$)	f	Do tipo f
15	5	5.º	Nível 5 ($n = 5$)		
16	6	6.º	Nível 6 ($n = 6$)		
17	7	7.º	Nível 7 ($n = 7$)		
18	8*				

*Com a exceção do He, que tem 2.

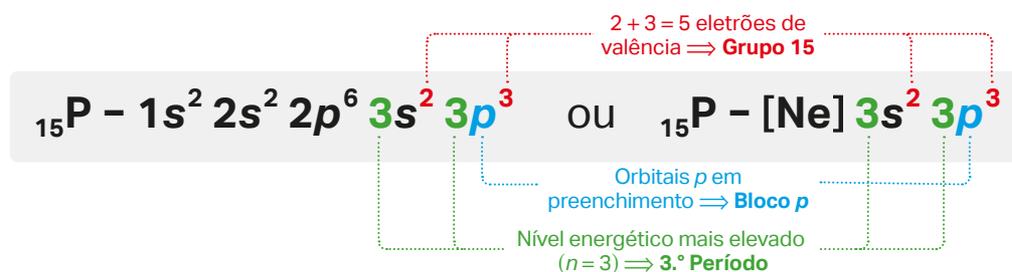
Analisando a **figura 30**, verifica-se que:

Os elementos de um **mesmo grupo** têm o **mesmo número de elétrons de valência**. Estes elementos e as suas substâncias elementares têm **propriedades físicas e químicas semelhantes**. Exemplo: grupo 15 \rightarrow 5 elétrons de valência.

O **nível de energia mais elevado** da **configuração eletrônica de valência** indica o **período** a que pertence. Elementos com o **mesmo número de níveis** de energia pertencem ao **mesmo período**. Exemplo: $n = 6 \rightarrow$ 6.º período.

Os elementos de um **mesmo bloco** possuem a **última orbital de valência** do **mesmo tipo** (s, p, d ou f). Exemplos: bloco s $\rightarrow ns^x$; bloco p $\rightarrow np^x$.

Assim, a partir da análise da sua configuração eletrônica, é possível conhecer a localização de um elemento na Tabela Periódica, ou seja, o grupo, o período e o bloco a que pertence. Por exemplo, para o caso do fósforo:



O **quadro 5** apresenta a localização dos elementos químicos até $Z = 23$ a partir das respectivas configurações eletrônicas.

Elemento químico	Configuração eletrônica	Configuração eletrônica de valência	Localização na TP		
			Bloco	Período	Grupo
${}_1\text{H}$	$1s^1$	$1s^1$	s	1	1
${}_2\text{He}$	$1s^2$	$1s^2$	s	1	18*
${}_3\text{Li}$	$1s^2 2s^1$	$2s^1$	s	2	1
${}_4\text{Be}$	$1s^2 2s^2$	$2s^2$	s	2	2
${}_5\text{B}$	$1s^2 2s^2 2p^1$	$2s^2 2p^1$	p	2	13
${}_6\text{C}$	$1s^2 2s^2 2p^2$	$2s^2 2p^2$	p	2	14
${}_7\text{N}$	$1s^2 2s^2 2p^3$	$2s^2 2p^3$	p	2	15
${}_8\text{O}$	$1s^2 2s^2 2p^4$	$2s^2 2p^4$	p	2	16
${}_9\text{F}$	$1s^2 2s^2 2p^5$	$2s^2 2p^5$	p	2	17
${}_{10}\text{Ne}$	$1s^2 2s^2 2p^6$	$2s^2 2p^6$	p	2	18
${}_{11}\text{Na}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$	$3s^1$	s	3	1
${}_{12}\text{Mg}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$	$3s^2$	s	3	2
${}_{13}\text{Al}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$	$3s^2 3p^1$	p	3	13
${}_{14}\text{Si}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$	$3s^2 3p^2$	p	3	14
${}_{15}\text{P}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$	$3s^2 3p^3$	p	3	15
${}_{16}\text{S}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$	$3s^2 3p^4$	p	3	16
${}_{17}\text{Cl}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$	$3s^2 3p^5$	p	3	17
${}_{18}\text{Ar}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$	$3s^2 3p^6$	p	3	18
${}_{19}\text{K}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$	$4s^1$	s	4	1
${}_{20}\text{Ca}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$	$4s^2$	s	4	2
${}_{21}\text{Sc}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^1$	$4s^2 3d^1$	d	4	3
${}_{22}\text{Ti}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^2$	$4s^2 3d^2$	d	4	4
${}_{23}\text{V}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^3$	$4s^2 3d^3$	d	4	5

* O hélio, apesar de só ter 2 elétrons de valência, pertence ao grupo 18.

Quadro 5 Configurações eletrônicas e localização dos elementos na TP.

Exercícios resolvidos

- 11 Considera as seguintes configurações eletrónicas dos átomos X e Y num determinado estado de energia.



- 11.1 Indica o número atómico dos átomos X e Y.
- 11.2 Indica, justificando com base nas configurações eletrónicas, a que grupo e período da TP pertencem os elementos dos átomos X e Y.
- 11.3 Refere duas propriedades físicas das substâncias elementares constituídas por átomos do mesmo grupo da TP do elemento X.

Resolução:

- 11.1. O número atómico de um elemento é igual ao número de prótons que, por sua vez, é igual ao número total de eletrões. Assim, os números atómicos de X e Y são, respetivamente, 11 e 10.
- 11.2. A configuração eletrónica do átomo X corresponde a um estado excitado, uma vez que um dos eletrões do subnível 2p ocupa o subnível 3s. No estado fundamental, o átomo X possuirá a configuração eletrónica: $X - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$
- Dado que o átomo X, no estado fundamental, tem os seus eletrões distribuídos por três níveis de energia, pertence ao 3.º período e, por possuir 1 eletrão no nível de valência, pertence ao grupo 1 da TP. O átomo Y, por apresentar 8 eletrões no nível de valência, pertence ao grupo 18 e, como os seus eletrões estão distribuídos por dois níveis de energia, pertence ao 2.º período da TP.
- 11.3. Dado que o átomo X pertence ao grupo 1 da TP, trata-se de um metal alcalino e, como tal, caracteriza-se por apresentar brilho metálico e boa condutividade térmica e elétrica.

- 12 Relativamente a um átomo Z, sabe-se que é do elemento químico que pertence ao 2.º período e grupo 17 da TP.
- 12.1 Escreve a configuração eletrónica do átomo Z.
- 12.2 Identifica o bloco e o nome do grupo da TP a que pertence o elemento considerado.

Resolução:

- 12.1. Como o elemento Z pertence ao 2.º período da TP, então, os seus eletrões estão distribuídos por dois níveis de energia e, por pertencer ao grupo 17, esse elemento possui 7 eletrões de valência. Assim, a configuração eletrónica do átomo Z será: $Z - 1s^2 2s^2 2p^5$.
- 12.2. Sendo do tipo *p* a última orbital em preenchimento, o elemento considerado pertence ao bloco *p*. Dado pertencer ao grupo 17, pertence à família dos halogéneos.

Atividade Laboratorial 2

Objetivo:

Observação experimental das propriedades dos elementos dos metais alcalinos, alcalinoterrosos e do grupo do carbono.

Parte I – Propriedades dos elementos dos metais alcalinos e alcalinoterrosos

Etapas do desenvolvimento da atividade:

- 1 Acesse ao recurso **Propriedades dos metais alcalinos** e visualize os vídeos nele contidos.
- 2 Organize os elementos do grupo 1 por ordem crescente de reatividade.
- 3 Visualize o vídeo **Reação dos metais alcalinoterrosos com o dióxigênio e com a água**.
- 4 Responda às questões colocadas no final do vídeo.
- 5 Apresente ao grupo-turma a resposta a essas questões.

Parte II – Propriedades dos elementos do grupo do carbono

Material:

- Copo de combustão;
- Colher de combustão;
- Espátula;
- Fósforos;
- Lamparina de álcool;
- 2 tubos de ensaio;
- Suporte para tubos de ensaio;
- 1 vidro de relógio;
- Carvão;
- Fenolftaleína;
- Tornesol;
- Água.

Procedimento experimental e registo de observações:

- 1 Com a espátula, colocar um pouco de carvão na colher de combustão e aquecê-lo à chama da lamparina até que comece a arder.
- 2 Colocar a colher de combustão com o carvão a arder num copo de combustão (ver figura ao lado) com um pouco de água e tapar de imediato o copo com um vidro de relógio. Observar.
- 3 Terminada a combustão, retirar a colher do copo e agitar bem.
- 4 Deitar um pouco da solução obtida em dois tubos de ensaio. Adicionar a um dos tubos de ensaio umas gotas de fenolftaleína e, ao outro, umas gotas de tornesol.
- 5 Registrar, no caderno, todas as observações.



Conclusões

Qual é o carácter químico da solução aquosa do óxido formado?

Atividade Investigativa 3

Objetivo:

Investigar a importância do carbono para a vida na atualidade.

Temas a explorar:

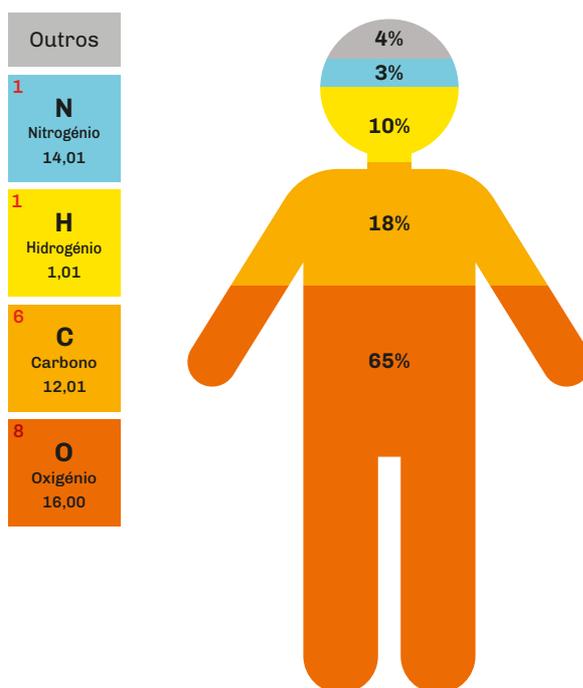
- 1 Importância do carbono como um dos elementos de suporte à vida no planeta.
- 2 Importância do carbono como fonte de energia.

Contexto teórico:

O carbono é um dos elementos químicos que existem em maior percentagem no corpo humano. É um elemento essencial para os seres vivos, uma vez que faz parte da estrutura das moléculas dos compostos orgânicos, nomeadamente dos hidratos de carbono, proteínas e ácidos nucleicos.

A combustão desses compostos orgânicos liberta grande quantidade de energia.

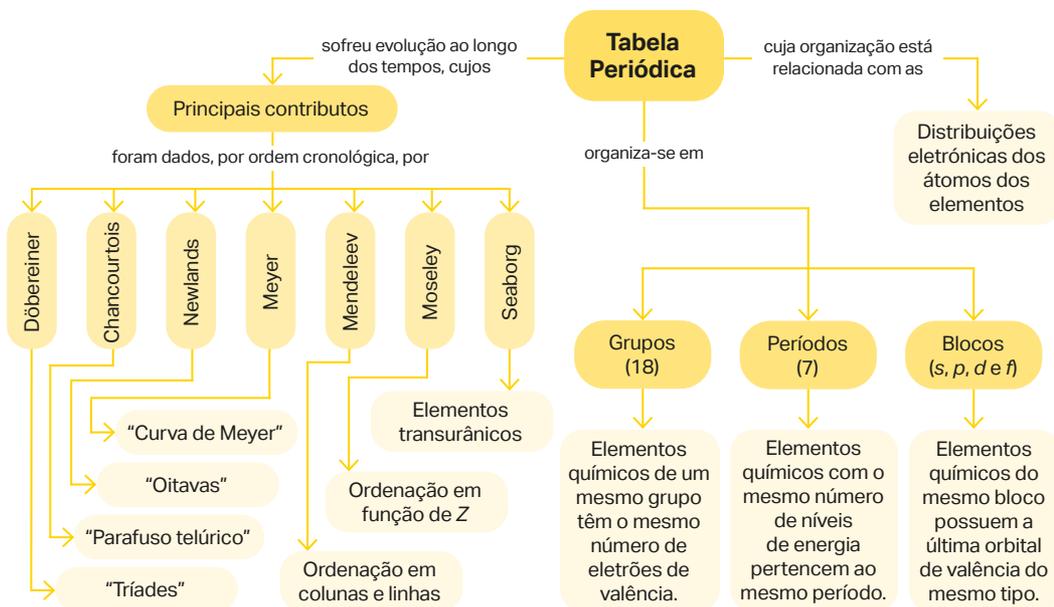
Na forma de combustíveis fósseis e de biocombustíveis, o carbono é também fundamental no abastecimento de energia para o funcionamento de indústrias e para os diferentes meios de transporte.



Etapas do desenvolvimento da atividade:

- 1 Dividir a turma em pequenos grupos de trabalho.
- 2 Cada grupo de trabalho escolhe um dos dois temas propostos.
- 3 Selecionando fontes de pesquisa credíveis e previamente validadas pelo professor, elaborar um texto que aprofunde e explicita, para cada um dos temas, as informações apresentadas no contexto teórico.
- 4 Depois de o texto ser validado pelo professor, organizar um momento para a apresentação dos trabalhos ao grupo-turma, reservando um tempo para debate.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **Tabela Periódica (TP)** consiste na disposição sistemática dos elementos químicos, na forma de uma tabela, em função das configurações eletrônicas, das propriedades dos elementos e das respectivas substâncias elementares.
- Os principais contributos para a evolução da TP foram dados por vários cientistas, nomeadamente: Döbereiner; Chancourtois; Newlands; Meyer; Mendeleev; Moseley e Seaborg.
- Atualmente, são reconhecidos **118 elementos**, organizados na TP por **ordem crescente do número atómico (Z)**, em linhas e colunas, de modo que as suas propriedades se repitam periodicamente à medida que se percorre a tabela. Os elementos dispõem-se em **grupos e períodos**:
 - **Grupo** é o conjunto de elementos da **mesma coluna** da TP. Os grupos apresentam-se numerados de 1 a 18. Elementos do mesmo grupo possuem o mesmo número de eletrões de valência (com a exceção do He do grupo 18, que tem 2 eletrões).
 - **Período** é o conjunto de elementos da **mesma linha** da TP. Os períodos apresentam-se numerados do 1.º ao 7.º elementos do mesmo período e correspondem ao número de níveis de energia.
- Os elementos também se organizam em **blocos**: *s*, *p*, *d* e *f*. Os elementos de um mesmo bloco possuem o **mesmo tipo de orbital de valência** mais energética preenchida ou em preenchimento.
- Os elementos dos **blocos s e p** designam-se por **elementos representativos** e os elementos com eletrões mais energéticos em orbitais de subníveis *d* e *f* (preenchidas ou em preenchimento) designam-se por elementos de transição e elementos de transição interna, respetivamente.

Exercícios de aplicação

1 Completa corretamente as frases seguintes:

- (A) A organização da TP está relacionada com as⁽¹⁾..... dos átomos dos elementos.
- (B) Atualmente são reconhecidos⁽²⁾..... elementos, organizados na TP por ordem⁽³⁾..... do⁽⁴⁾..... (Z), em 18 grupos e 7 períodos, de modo que as suas propriedades se repitam periodicamente à medida que se percorre a tabela.
- (C) Os elementos do mesmo grupo possuem o mesmo número de⁽⁵⁾..... (com a exceção do He); os elementos do mesmo período possuem o mesmo número de⁽⁶⁾.....
- (D) Os elementos também se organizam nos blocos⁽⁷⁾.....
Os elementos de um mesmo bloco possuem o mesmo tipo de⁽⁸⁾..... mais energética preenchida ou em preenchimento.

2 Considera o esquema da TP, em que as letras não representam os verdadeiros símbolos dos elementos químicos.

Indica a(s) letra(s) que representa(m):

O diagrama mostra a Tabela Periódica com as seguintes células rotuladas:

- E**: Grupo 1, 2.º período.
- D**: Grupo 13, 2.º período.
- F**: Grupo 14, 2.º período.
- H**: Grupo 2, 3.º período.
- A**: Grupo 10, 4.º período.
- I**: Grupo 1, 5.º período.
- C**: Grupo 18, 5.º período.
- G**: Grupo 17, 5.º período.
- B**: Grupo 16, 5.º período.

(A) um elemento do grupo 1 e do 2.º período; (B) um halogéneo; (C) um gás nobre; (D) um elemento do grupo 13; (E) dois elementos metálicos do mesmo período; (F) dois elementos não metálicos do mesmo grupo; (G) um metal de transição; (H) um metal alcalinoterroso; (I) os elementos do bloco s; (J) os elementos do bloco p.

3 O elemento químico X pertence ao 4.º período e ao grupo 2 da TP.

3.1. Seleciona a opção que contém os termos que completam corretamente a frase seguinte:

O elemento X, por possuir elétrons de valência, é um, tratando-se, por isso, de um elemento

- (A) dois... metal alcalinoterroso... representativo
 (B) dois... metal alcalino... representativo
 (C) quatro... metal alcalino... representativo
 (D) quatro... metal alcalinoterroso... de transição

3.2. Escreve a configuração eletrónica deste elemento e identifica-o.

3.3. Em que bloco da TP se localiza este elemento?

Propriedades periódicas dos elementos representativos

A grande vantagem da organização dos elementos na TP é permitir inferir as propriedades dos mesmos a partir das suas posições. Algumas dessas propriedades variam periodicamente à medida que o número atômico dos elementos aumenta ao longo dos grupos e períodos e, por isso, designam-se por **propriedades periódicas**.

São exemplos destas propriedades periódicas o **raio atômico** e a **energia de ionização**.

Raio atômico

O raio do átomo é a distância média entre o núcleo e os seus eletrões mais afastados. Para a determinação do valor do raio dos átomos, tendo em conta que a nuvem eletrónica não apresenta limites definidos, considera-se o átomo uma esfera com cerca de 95% do seu espaço ocupado pela nuvem eletrónica.

Dado que os átomos, à exceção dos gases nobres, não se encontram isolados, para a determinação do raio atômico prevalecem duas situações:

Metais

Formam estruturas tridimensionais de átomos iguais.

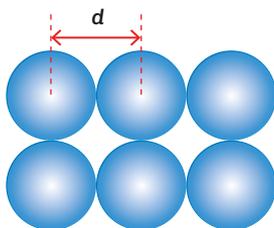


Fig. 31 Nos metais, o raio atômico é definido como metade da distância entre os núcleos de dois átomos adjacentes.

Não metais

Formam moléculas diatómicas simples.

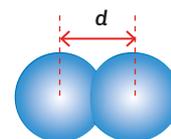


Fig. 32 Nas moléculas diatómicas elementares, o raio atômico corresponde a metade da distância entre os centros dos átomos da molécula.

Raio atômico

$$r = \frac{d}{2}$$

O **raio atômico** corresponde a metade da distância entre dois núcleos (distância internuclear) de dois átomos do mesmo elemento.

Por exemplo, no metal ferro, Fe, a distância entre dois núcleos atômicos é 248 pm, pelo que o raio atômico do Fe é 124 pm. Na molécula de flúor, F₂, sendo a distância entre os dois núcleos atômicos 144 pm, o raio atômico do F é 72 pm.

Como varia o raio atômico dos elementos ao longo da Tabela Periódica?



A **figura 33** evidencia a tendência de variação do raio atômico ao longo do grupo e do período, para os elementos representativos da TP (elementos dos blocos s e p).

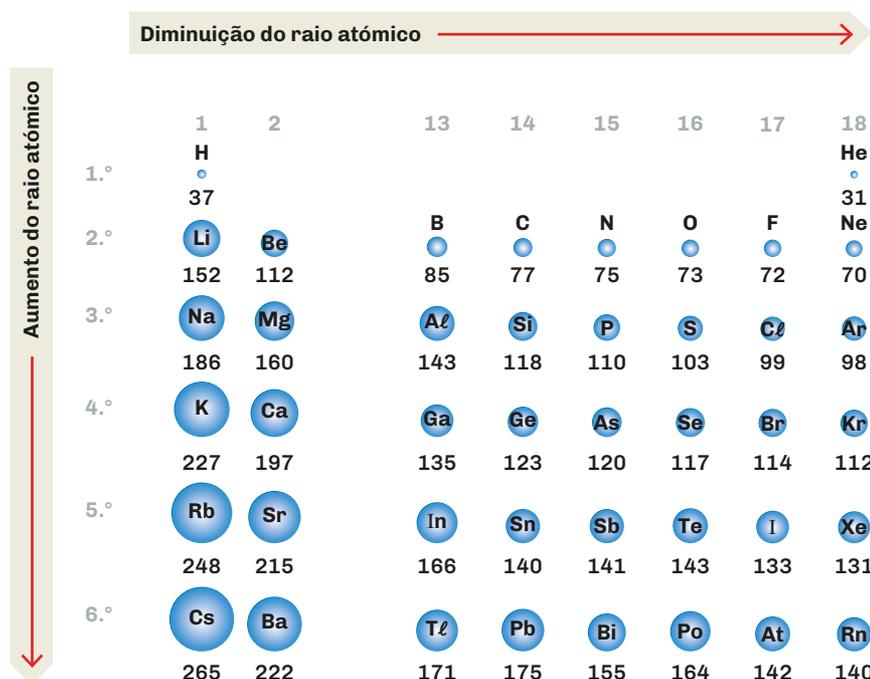


Fig. 33 Raios atômicos dos elementos representativos medidos em picômetros (pm). O raio atômico dos elementos varia entre, aproximadamente, 30 pm e 300 pm ($1 \text{ pm} = 1 \times 10^{-12} \text{ m}$).

Genericamente, o **raio atômico aumenta ao longo do grupo** (de cima para baixo) e **diminui ao longo do período** (da esquerda para a direita).

A que se devem estas variações do raio atômico?

A **figura 34** mostra as configurações eletrônicas dos elementos do grupo 1 da TP.

$1s^1$	1H	$1s^1$																	
[He] $2s^1$	3Li	$1s^2 2s^1$																	
[Ne] $3s^1$	11Na	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$																	
[Ar] $4s^1$	19K	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$																	
[Kr] $5s^1$	37Rb	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^1$																	
[Xe] $6s^1$	55Cs	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^1$																	
[Rn] $7s^1$	87Fr	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^{10} 6p^6 7s^1$																	

Fig. 34 Configurações eletrônicas dos elementos do grupo 1 da TP.

Analisando a **figura 34**, verifica-se que, ao longo do grupo, de cima para baixo, com o aumento do número atômico, existe um aumento sucessivo de um nível de energia, um aumento da carga nuclear e um aumento do número de elétrons internos.

Energia de ionização

A dificuldade com que os átomos perdem eletrões apresenta, regra geral, regularidade ao longo dos grupos e períodos da TP e é medida pela **energia de ionização**.

A **energia de ionização** (E_i) é a energia mínima necessária para remover um eletrão de um átomo na fase gasosa e no estado fundamental.

Assim, quanto maior é a energia de ionização, maior é a dificuldade para remover o eletrão. Por exemplo, a primeira energia de ionização do sódio é 496 kJ mol^{-1} . Isto significa que, para remover 1 mol ($6,022 \times 10^{23}$) de eletrões a 1 mol de átomos de sódio, em fase gasosa e no estado fundamental, será necessário fornecer a energia de 496 kJ .

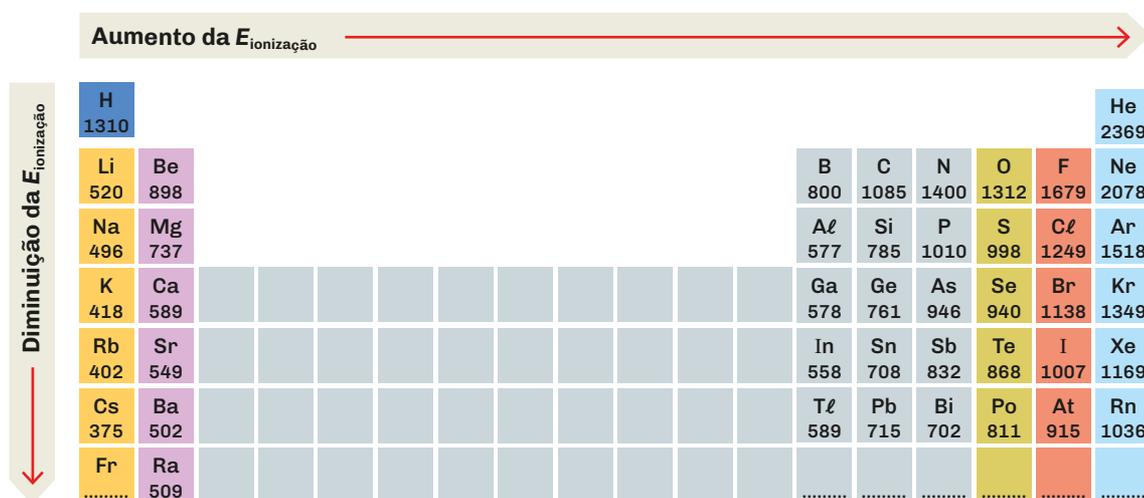


Fig. 37 Primeira energia de ionização dos elementos representativos da TP (em kJ mol^{-1}). Nota que o número total de energias de ionização possíveis para um átomo é igual ao número de eletrões.

Analisando os valores da **figura 37**, verifica-se que:

A primeira **energia de ionização** tende a **aumentar ao longo do período** (da esquerda para a direita) e a **diminuir ao longo do grupo** (de cima para baixo).

A que se devem estas variações?

Ao longo de um período, a carga nuclear e o número de eletrões aumentam sucessivamente uma unidade, mas os eletrões de valência ocupam o mesmo nível. O número de eletrões internos é o mesmo, mas, como a carga nuclear é maior, a atração é maior, tornando mais difícil remover os eletrões, e a **energia de ionização aumenta**.

Ao longo de um grupo, o número de eletrões de valência é o mesmo, mas o número de eletrões internos aumenta apreciavelmente e as repulsões entre os eletrões



Vídeo
Propriedades
periódicas:
energia de
ionização



tendem a afastá-los do núcleo. Embora a carga nuclear também aumente, dado que o núcleo está rodeado por mais elétrons, a sua ação atrativa sobre os elétrons mais afastados é menos importante do que a repulsão entre os elétrons, e, por isso, os elétrons externos estão menos ligados ao núcleo. O raio atômico aumenta e a **energia de ionização diminui**.

O gráfico da **figura 38** confirma a análise feita relativamente à tendência geral de variação da primeira energia de ionização ao longo de cada grupo e período e evidencia a periodicidade desta propriedade.

Nota:

A afinidade eletrônica é outra propriedade periódica da Tabela Periódica e corresponde à energia necessária para remover uma mole de elétrons de uma mole de iões mononegativos, no estado gasoso. Esta propriedade apresenta uma periodicidade menos evidente do que o raio atômico e a energia de ionização.

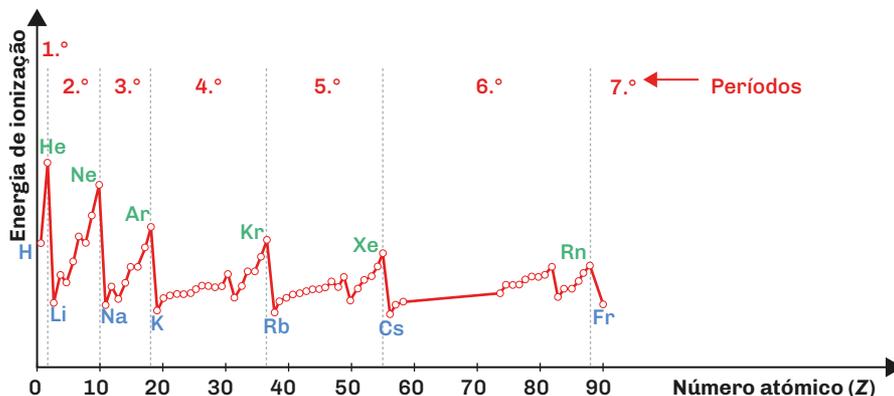


Fig. 38 Variação da 1.ª energia de ionização em função de Z . Ao longo do mesmo período, de uma forma geral, a E_i aumenta. Ao longo do mesmo grupo, de uma forma geral, a E_i diminui.

Exercício resolvido

- 13** Considera os elementos sódio, ${}_{11}\text{Na}$, cloro, ${}_{17}\text{Cl}$, e potássio, ${}_{19}\text{K}$, bem como as respetivas localizações na Tabela Periódica.
- 13.1** Coloca estes elementos por ordem crescente de raio atômico, justificando.
- 13.2** A energia de ionização do cloro é superior à do sódio. Justifica este facto.
- 13.3** A primeira energia de ionização do potássio é 418 kJ mol^{-1} . Qual é o valor da energia mínima que é necessário fornecer a cada átomo de potássio, no estado gasoso e fundamental, para lhe remover um eletrão?

Resolução:

- 13.1.** O sódio e o potássio pertencem ao mesmo grupo da TP. Como o raio atômico aumenta ao longo de um grupo, por consequência do aumento do número de níveis de energia, o potássio apresentará maior raio, por apresentar um maior número de níveis de energia do que o sódio (4 e 3, respetivamente). Por outro lado, porque o sódio e o cloro pertencem ao mesmo período, os seus elétrons estão distribuídos por um mesmo número de níveis de energia. Contudo, a carga nuclear do cloro é superior à carga nuclear do sódio, estando os elétrons do cloro mais fortemente atraídos pelo seu núcleo.

Ao contrário destes elementos, existem outros que possuem energias de ionização baixas e, por isso, cedem elétrons aos que possuem maior tendência para os captar, adquirindo uma configuração eletrônica de gás nobre. Na **figura 40** apresentam-se exemplos de formação de íons de elementos metálicos.

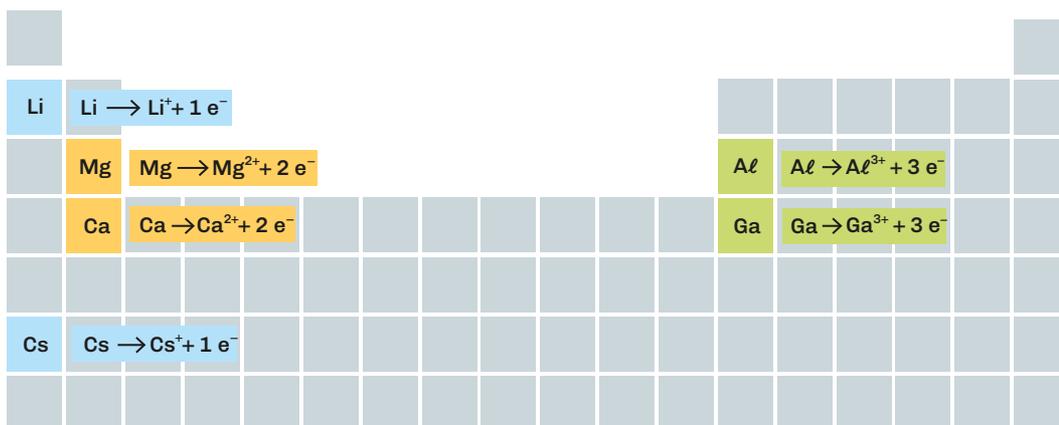


Fig. 40 Exemplos de íons positivos resultantes de átomos de elementos metálicos representativos da TP. Os átomos dos elementos do grupo 1, por possuírem 1 elétron de valência, formam íons monopositivos. Os átomos do grupo 2, por possuírem 2 elétrons de valência, formam íons bipoisitivos.

Os elementos representativos metálicos, nomeadamente elementos dos **grupos 1 e 2**, com baixas energias de ionização, formam **catiões**, adquirindo configuração eletrônica de gás nobre.

Raio iónico

Vamos considerar os dois exemplos do **quadro 6** para comparar o raio de um íão com o raio do átomo que lhe deu origem.

Átomo de cálcio e catião cálcio	Átomo de flúor e anião fluoreto
Configurações eletrónicas: ${}_{20}\text{Ca} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$ ${}_{20}\text{Ca}^{2+} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$	Configurações eletrónicas: ${}_{9}\text{F} - 1s^2 2s^2 2p^5$ ${}_{9}\text{F}^- - 1s^2 2s^2 2p^6$
Ca e Ca^{2+} possuem a mesma carga nuclear.	F e F^- possuem a mesma carga nuclear.
Ca^{2+} possui menos um nível de energia do que Ca.	F^- possui mais um elétron do que F.
Os elétrons mais externos de Ca^{2+} estão sujeitos a uma força atrativa núcleo-elétrons maior do que em Ca.	Os elétrons mais externos de F^- estão sujeitos a uma força atrativa núcleo-elétrons menor do que em F.
Assim, o raio de Ca é maior do que o raio de Ca^{2+} .	Assim, o raio de F é menor do que o raio de F^- .
<p>Ca: 197 pm Ca^{2+}: 99 pm</p>	<p>F: 72 pm F^-: 136 pm</p>

Quadro 6 Comparação de raios atômicos com raios iónicos.

Generalizando:

O **raio do catião** é **menor** do que o **raio do átomo** que lhe deu origem.

O **raio do anião** é **maior** do que o **raio do átomo** que lhe deu origem.



Fig. 41 Comparação do raio catiónico com o raio atômico.

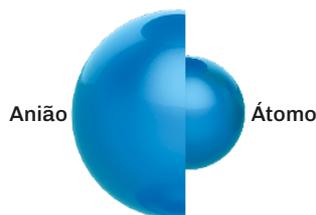


Fig. 42 Comparação do raio aniônico com o raio atômico.

Exercício resolvido

14. Considera um átomo dos elementos cloro, ${}_{17}\text{Cl}$, árgon, ${}_{18}\text{Ar}$, e potássio, ${}_{19}\text{K}$.
- 14.1. Escreve as configurações eletrônicas dos três átomos, no estado fundamental.
- 14.2. Indica o tipo de ião que o átomo de cloro e o átomo de potássio tendem a originar.
- 14.3. Compara o raio atômico do potássio com o raio do ião que este átomo tende a originar.
- 14.4. Dispõe por ordem crescente de raio os iões indicados em 1.2. e o árgon.

Resolução:

- 14.1. ${}_{17}\text{Cl} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$; ${}_{18}\text{Ar} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$; ${}_{19}\text{K} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$
- 14.2. O cloro possui 7 eletrões de valência e, de modo a ficar com a última orbital de valência totalmente preenchida, tende a captar 1 eletrão, originando iões mononegativos, ${}_{17}\text{Cl}^-$. O potássio possui 1 eletrão de valência, tem baixa energia de ionização e cede 1 eletrão (ao invés de captar 7 eletrões), originando iões monopositivos, ${}_{19}\text{K}^+$.
- 14.3. O catião potássio resulta do átomo de potássio por cedência de 1 eletrão, perdendo, consequentemente, um nível de energia; contudo, o número de prótons existentes no núcleo mantém-se igual. Dado que os 18 eletrões do catião são mais fortemente atraídos pela mesma carga nuclear do que os 19 eletrões do átomo que lhe deu origem, concluiu-se que o raio do catião potássio é menor do que o raio do átomo de potássio.
- 14.4. As três espécies possuem o mesmo número de eletrões (18 eletrões). Apresentará menor raio a espécie que possuir maior carga nuclear. Assim, por ordem crescente de raio, vem:
 ${}_{19}\text{K}^+ < {}_{18}\text{Ar} < {}_{17}\text{Cl}^-$

Eletronegatividade e reatividade química

Ao contrário das propriedades periódicas estudadas anteriormente (energia de ionização e raio atômico), que são características de átomos isolados, a eletronegatividade é relativa apenas ao átomo de um elemento quando envolvido numa ligação química.

A **eletronegatividade** é a propriedade periódica que avalia a capacidade que um átomo possui de atrair para si os elétrons numa ligação química.

O gráfico seguinte mostra a variação da eletronegatividade em função do número atômico.

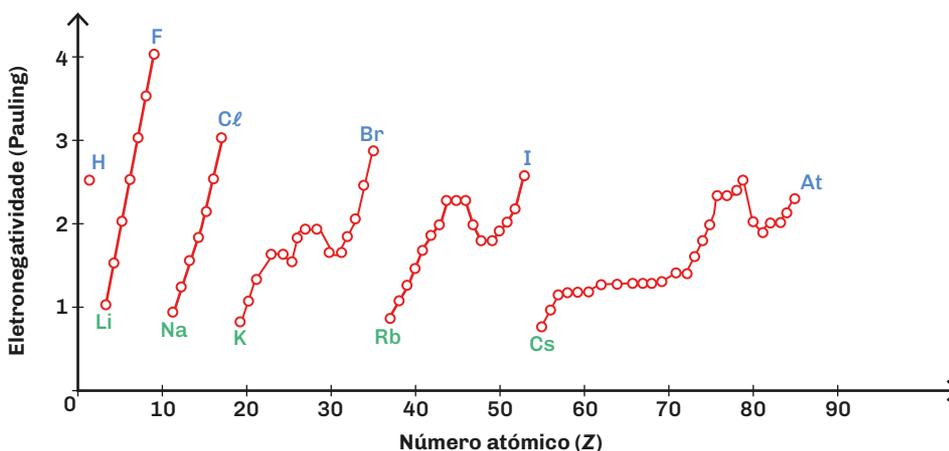


Fig. 43 Variação da eletronegatividade em função de Z. Os gases nobres, por apresentarem uma baixa reatividade, não são incluídos no estudo desta propriedade periódica.

A **eletronegatividade aumenta ao longo do período** (da esquerda para a direita) e **diminui ao longo de um grupo** (de cima para baixo).

Analisando os valores da **figura 43**, verifica-se que, para elementos representativos, a eletronegatividade aumenta à medida que o elemento químico se aproxima dos halogênios – elementos químicos que, de modo geral, têm maior eletronegatividade como mostram os picos do gráfico. Por outro lado, os metais alcalinos e os alcalino-terrosos são os que apresentam menor eletronegatividade e, por essa razão, são classificados como átomos muito **eletropositivos**.

A reatividade química relaciona-se, assim, com o carácter mais ou menos eletronegativo dos elementos: para os **não metais**, quanto **maior a sua eletronegatividade** (maior tendência em atrair os elétrons do outro átomo numa ligação química), **maior é a sua reatividade**; para os **metais**, quanto maior a eletropositividade ou **menor eletronegatividade** (maior tendência em perder elétrons numa ligação química), **maior é a sua reatividade**.



Vídeo
Reatividade dos elementos



Propriedades do elemento e da substância elementar

As substâncias elementares são constituídas por átomos de um único elemento químico. Nas versões mais completas da TP, além de se encontrar dados relativos às propriedades dos elementos (associadas aos átomos), também se incluem informações que são propriedades das substâncias elementares (associadas às substâncias).

Na **figura 44** apresentam-se algumas destas propriedades dando como exemplos o elemento químico zinco e a substância elementar zinco metálico.

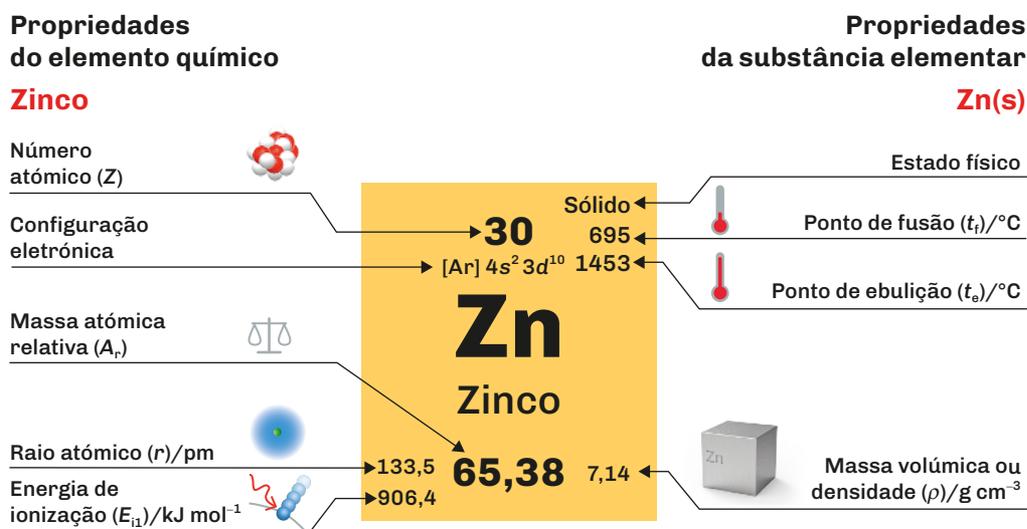


Fig. 44 Informações sobre o elemento químico Zn (elemento metálico) e as propriedades físicas da substância elementar Zn(s) (metal).

Exercício resolvido

- 15 Apresentam-se, de seguida, informações relativas a propriedades do elemento carbono e da substância elementar diamante (constituída apenas por átomos de carbono).

A – Estado físico: sólido

B – Massa atômica relativa: 12,01

C – Número atômico: 6

D – Raio atômico: 170 pm

E – Primeira energia de ionização: 1085,5 kJ mol⁻¹

F – Ponto de fusão: 3800 K

G – Ponto de ebulição: 4300 K

H – Densidade: 2,267 g cm⁻³

Identifica as propriedades que se referem:

- 15.1 ao elemento carbono;
- 15.2 à substância elementar diamante.

Resolução:

15.1. B, C, D e E.

15.2. A, F, G e H.

O **quadro 7** identifica e resume algumas das propriedades físicas e químicas das substâncias elementares dos elementos representativos dos grupos 1 e 2 (elementos metálicos) e de 14 a 18 (elementos metálicos e não metálicos).

	Propriedades	
	Substâncias elementares	Elemento químico
Grupos 1 e 2	<p>Sólidos à temperatura ambiente.</p> <p>Pontos de fusão (p.f.), pontos de ebulição (p.e.) e densidades globalmente mais elevados do que os elementos dos grupos 14 a 18.</p> <p>São muito reativos. Os metais alcalinoterrosos são menos reativos do que os metais alcalinos.</p> <p>A reatividade aumenta ao longo do grupo (de cima para baixo).</p>	<p>Baixas energias de ionização.</p> <p>Baixas eletronegatividades, com tendência a formarem cátions.</p> <p>Elevados raios atômicos.</p> <p>Configurações eletrônicas de valência:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Metais alcalinos: ns^1 – Metais alcalinoterrosos: ns^2
Grupos 14 a 17	<p>Apresentam-se em diferentes estados físicos à temperatura ambiente.</p> <p>P.f., p.e. e densidades globalmente mais baixos do que os dos metais dos grupos 1 e 2.</p> <p>Os halogéneos são muito reativos. A sua reatividade diminui ao longo do grupo (de cima para baixo).</p>	<p>Elevadas energias de ionização.</p> <p>Baixos raios atômicos.</p> <p>Configurações eletrônicas de valência:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Grupo do carbono: $ns^2 np^2$ – Grupo do nitrogénio: $ns^2 np^3$ – Grupo do oxigénio: $ns^2 np^4$ – Halogéneos: $ns^2 np^5$
Grupo 18	<p>Gasosos à temperatura ambiente.</p> <p>P.f., p.e. e densidades baixos.</p> <p>Quimicamente inertes.</p>	<p>Configuração eletrônica de valência (à exceção do He): $ns^2 np^6$</p> <p>Elevadas energias de ionização.</p> <p>Baixos raios atômicos.</p>

Quadro 7 Algumas propriedades físicas (das substâncias elementares) e químicas (dos elementos químicos) dos elementos dos grupos 1, 2, 14, 15, 16, 17 e 18 da Tabela Periódica.

Atividade Laboratorial 3

Objetivo:

Determinação experimental da densidade de metais e verificação da sua condutividade elétrica.

Parte I – Densidade relativa de metais

Informação:

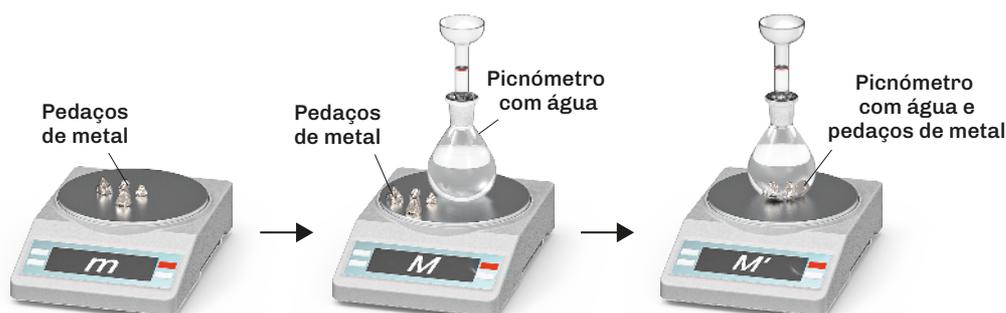
Para a determinação experimental da densidade de forma precisa, deve usar-se a técnica designada por **picnometria**. Neste caso, determina-se a densidade relativa de uma substância X, por comparação da densidade dessa substância com a densidade da água:

$$(1) d_x = \frac{\rho_x}{\rho_{\text{água}}}$$

Mais concretamente, a densidade relativa do material **X** é calculada pelo quociente entre a massa de um determinado volume de substância **X** e a massa de igual volume da substância **Y** (neste caso, água), cuja densidade é conhecida. Ou seja, para **iguais volumes de X e de água**:

$$(2) d_x = \frac{m_x}{m_{\text{água}}}$$

Um **picnómetro** é um pequeno recipiente de vidro que permite conter uma quantidade rigorosa de líquido. Existem **picnómetros de sólidos e de líquidos**. No caso da determinação da densidade relativa de um sólido (que deve caber dentro do picnómetro), deve comparar-se a soma da massa do picnómetro cheio de água destilada e da massa do sólido (**M**) com a massa do picnómetro com o sólido dentro e cheio de água destilada (**M'**), para se obter o volume do sólido (igual ao volume de água deslocada), **sem necessidade de conhecer a capacidade do picnómetro**. Por outro lado, uma vez obtida a massa do sólido (**m**), é possível calcular a sua densidade relativa através da expressão (3).



$$(3) d_x = \frac{\rho_x}{\rho_{\text{água}}} = \frac{\frac{m_x}{V_x}}{\frac{m_{\text{água deslocada}}}{V_{\text{água deslocada}}}} = \frac{m_x}{m_{\text{água deslocada}}} = \frac{m}{M - M'}$$

e Manual Digital

Vídeo
Densidade
relativa dos
metais



Material:

- Picnómetro de sólidos;
- Garrafa de esguicho com água destilada;
- Balança digital de sensibilidade 0,0001 g;
- Pipeta de Pasteur;
- Termómetro (analógico ou digital);
- Papel absorvente;
- Cobre e/ou alumínio e/ou chumbo, na forma de grãos, lâminas e/ou fios de pequena dimensão.

Procedimento experimental:

- 1 Encher completamente o picnómetro com água destilada, tendo o cuidado de fazer escorrer o líquido lentamente pela parede, evitando a formação de bolhas de ar.
- 2 Introduzir a rolha do picnómetro com um movimento vertical rápido que obrigue o líquido a encher o tubo capilar da rolha.
- 3 Secar o exterior do picnómetro com papel absorvente e verificar se está completamente cheio até à marca. Caso seja necessário, adicionar mais água utilizando uma pipeta de Pasteur. Se, pelo contrário, o nível do líquido ultrapassar a marca, utilizar papel absorvente para remover o excesso.
- 4 Medir a massa de alguns pedaços do metal em estudo e registar o seu valor (m_{metal}).
- 5 Medir a massa do conjunto formado pelo picnómetro cheio de água e os pedaços do metal (ao lado). Registar esse valor ($M = m_{\text{picnómetro cheio de água}} + m_{\text{metal}}$).
- 6 Retirar um pouco de água do picnómetro.
- 7 Introduzir os pedaços de metal dentro do picnómetro e completar com água até à marca. Caso seja necessário, adicionar mais água utilizando uma pipeta de Pasteur. Se, pelo contrário, o nível do líquido ultrapassar a marca, utilizar papel absorvente para retirar o excesso.
- 8 Secar o picnómetro com papel absorvente e medir a massa do picnómetro com água e pedaços de metal (dentro). Registar esse valor ($M' = m_{\text{picnómetro cheio de água+metal}}$).
- 9 Medir a temperatura da água e registar o seu valor.

Registo de dados

	Designação	Valor medido
Massa do metal/g	$m = m_{\text{metal}}$	
Massa do picnómetro cheio de água mais pedaços de metal ao lado/g	$M = m_{\text{picnómetro cheio de água}} + m_{\text{metal}}$	
Massa do picnómetro com água e pedaços de metal dentro/g	$M' = m_{\text{picnómetro cheio de água + metal}}$	
Temperatura da água/°C	$\theta_{\text{água}}$	

e Manual Digital

Vídeo
Comparar propriedades físicas de metais e não metais



Tratamento de resultados e conclusões

- 1 Calcula a densidade relativa do metal em estudo à temperatura da realização da atividade.
- 2 Identifica o possível metal em estudo, confrontando o valor obtido em 1 com os valores de densidades de metais tabelados.

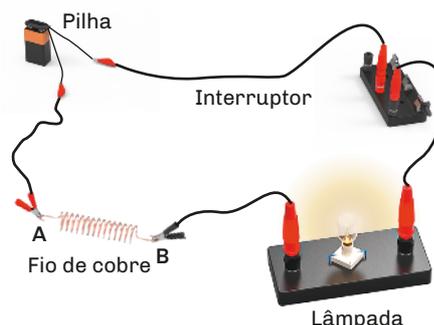
Parte II – Condutividade elétrica dos metais

Material:

- 1 prego de ferro;
- 1 fio de cobre;
- 1 cristal de enxofre;
- 1 colher de alumínio;
- Pilha de 9 V;
- Fios de ligação e crocodilos;
- Interruptor;
- 1 lâmpada com suporte.

Procedimento experimental:

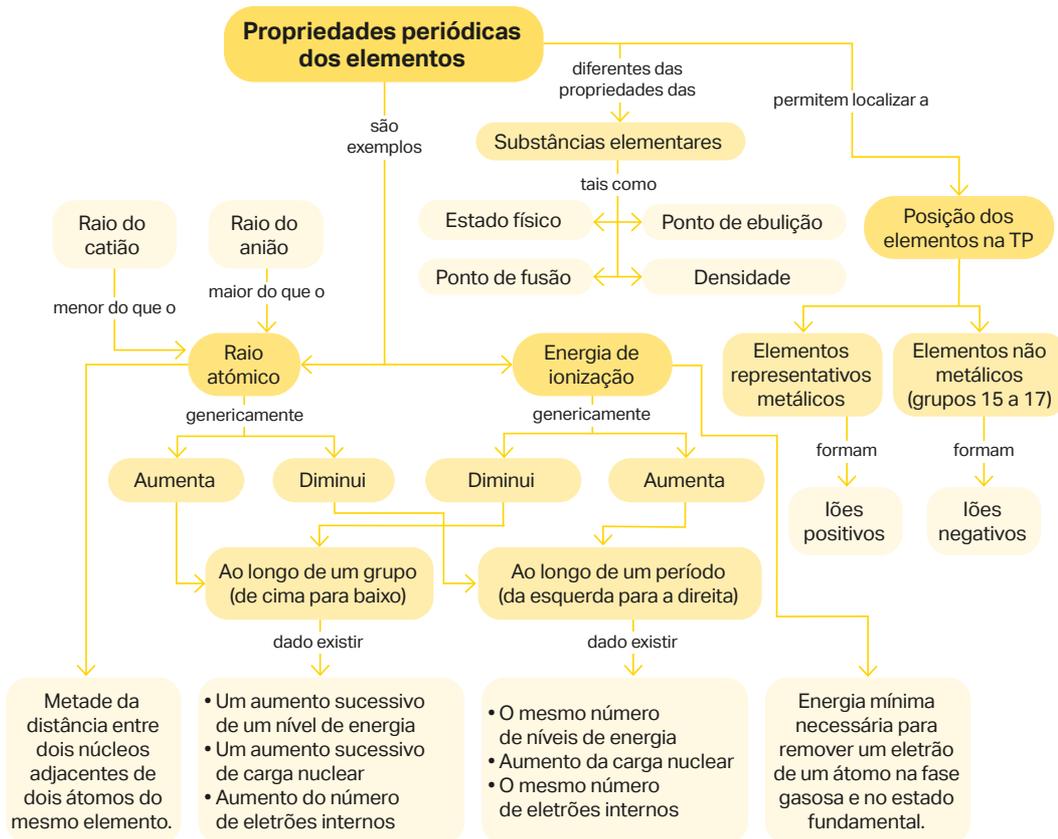
Montar o circuito elétrico, semelhante ao da figura ao lado, intercalando entre os crocodilos A e B, sucessivamente, o prego de ferro, o fio de cobre, a colher de alumínio e o cristal de enxofre (neste último caso, será necessário segurar os fios para garantir que os contactos sejam feitos).



Conclusões

- 1 Das substâncias elementares usadas, quais são metais e quais são não-metais?
- 2 Quais das substâncias testadas nesta atividade são condutoras de eletricidade? O que têm em comum?

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- O **raio atômico** e a **energia de ionização** são duas propriedades periódicas muito importantes dos elementos na TP. Genericamente, o **raio atômico aumenta ao longo do grupo** e **diminui ao longo do período**. A primeira **energia de ionização** varia de forma oposta ao raio atômico.
- Os átomos dos não metais transformam-se em aniões, captando elétrons, para adquirirem estabilidade. Os metais, quando cedem elétrons (transformando-se em catiões), adquirem a configuração de gás nobre.
- O raio de um átomo é superior ao raio do cátion a que dá origem, mas inferior ao raio do ânion do mesmo elemento.
- A **eletronegatividade** avalia a capacidade que um átomo possui de atrair para si os elétrons numa ligação química. Varia periodicamente de forma semelhante à energia de ionização e de forma contrária ao raio atômico.
- Enquanto algumas das propriedades apresentadas na TP, como o raio atômico, a energia de ionização e a eletronegatividade, são referentes aos átomos do elemento, outras características, tais como o estado físico, o ponto de fusão, o ponto de ebulição e a densidade, dizem respeito às substâncias elementares correspondentes a cada elemento.

3

Subtema 3.1. Forças intermoleculares

- Compreender a natureza cinético-corpúscular da matéria e utilizar modelos de partículas para representar os estados de agregação que caracterizam sistemas sólidos, líquidos e gasosos.
- Distinguir entre sistemas sólidos, líquidos e gasosos recorrendo ao modelo de energia interna e organização das partículas constituintes.
- Interpretar, sob o ponto de vista cinético-corpúscular, os efeitos da variação da temperatura sobre os estados físicos da matéria.
- Distinguir, a nível microscópico, entre as mudanças de estado físico e a ocorrência de transformações químicas.
- Relacionar os estados físicos da matéria com a energia interna e a desordem das partículas constituintes.
- Interpretar as mudanças de estado físico das substâncias considerando as variações de energia e o grau de organização das partículas.
- Compreender as diferenças entre os tipos de forças intermoleculares tendo como base as características das partículas em interação.
- Reconhecer as ligações de hidrogénio como uma característica das moléculas polares que possuem átomos H ligados a elementos eletronegativos tais como N, O e F.
- Compreender o efeito do tamanho das moléculas sobre a intensidade das forças intermoleculares.
- Relacionar a natureza e a intensidade das forças intermoleculares com as propriedades físicas das substâncias, tais como ponto de fusão, ebulição, solubilidade e densidade.
- Reconhecer que o ponto de ebulição de uma substância molecular depende da massa das moléculas e da intensidade das forças intermoleculares.
- Interpretar a solubilidade das substâncias sob o ponto de vista das interações corpúsculares, considerando a natureza das forças intermoleculares em presença.
- Explicar os estados físicos das substâncias considerando a relação entre a temperatura e a intensidade das forças intermoleculares.

Estados da matéria – sólidos, líquidos e gases

3.1. Forças intermoleculares

3.2. Estrutura e propriedades dos sólidos, líquidos e gases

Subtema 3.2. Estrutura e propriedades dos sólidos, líquidos e gases

- Reconhecer a existência de vários tipos de sólidos cujas características divergem consoante as partículas constituintes e as ligações internas.
 - Reconhecer que há vários sólidos constituídos por átomos unidos por ligações covalentes.
 - Reconhecer que há sólidos constituídos por iões que se unem entre si através de forças eletrostáticas.
- Compreender as propriedades e os usos de materiais sólidos tendo como base informações sobre a natureza e organização interna das suas partículas.
- Diferenciar entre sólidos metálicos, covalentes, moleculares e iónicos, consoante as propriedades físicas, tais como a condutividade elétrica e térmica, dureza, maleabilidade, temperatura de fusão e interações com água.
- Interpretar em termos de estrutura algumas propriedades físicas dos sólidos covalentes, metálicos, iónicos e moleculares.
- Reconhecer diferentes aplicações de materiais sólidos, nomeadamente no domínio tecnológico.
- Utilizar o modelo cinético-corpúscular da matéria para caracterizar sistemas líquidos.
- Relacionar a viscosidade dos líquidos com o grau de liberdade de movimento das partículas constituintes.
- Compreender o efeito da tensão superficial como resultado da ação das forças de atração sobre as moléculas na superfície.
- Compreender o efeito de agentes surfactantes sobre a tensão superficial da água.
- Distinguir entre líquidos puros, soluções e dispersões tendo como base a composição e as interações entre as partículas constituintes.
- Utilizar o modelo cinético-corpúscular da matéria para caracterizar sistemas gasosos.
- Interpretar as propriedades dos gases, tais como a compressibilidade, difusibilidade e miscibilidade, tendo como base teoria cinético-corpúscular da matéria.
- Identificar os principais componentes e as propriedades do ar atmosférico.
- Reconhecer os principais gases com efeito de estufa e as implicações nas mudanças climáticas.

3

Estados da matéria – sólidos, líquidos e gases

Ponto de partida

- Neste tema são introduzidos os conceitos-chave inerentes ao estudo da estrutura e propriedades dos sólidos, líquidos e gases.
- Nesta página vais perceber a importância da Química no estudo...



... das forças intermoleculares, essencial para entender como as substâncias se comportam em diferentes estados físicos, como interagem em processos biológicos e como podem ser aplicados na indústria e na tecnologia.

... da estrutura e propriedades dos sólidos, crucial em diferentes áreas das ciências e da tecnologia, dado que os sólidos constituem a base de uma larga gama de materiais usados no nosso quotidiano e na indústria.



... da organização atômica e as interações existentes nos sólidos, permitindo prever e melhorar as suas propriedades mecânicas, elétricas, térmicas e químicas.



... da estrutura e das propriedades dos líquidos, relevantes na melhoria de processo em áreas como a Química, a Biologia e a farmacologia, com destaque para a compreensão das propriedades físicas viscosidade, tensão superficial e densidade.



... da estrutura e das propriedades dos gases, com destaque para a difusão e miscibilidade, para entender fenômenos como a poluição do ar, visando apostar na sustentabilidade ambiental e no desenvolvimento de estratégias reparadoras.

Vamos começar o estudo?

3.1. Forças intermoleculares

Teoria cinético-corpúscular e estados físicos da matéria

Já recordámos este ano que, de acordo com a **teoria cinético-corpúscular da matéria**, a matéria é constituída por corpúsculos (que podem ser átomos, moléculas ou iões), em incessante **movimento**, entre os quais existe **espaço vazio**, embora a forma como as partículas se organizam seja diferente.

Evidências da teoria cinético-corpúscular

Através de algumas experiências simples, como as que se seguem, é possível comprovar a natureza cinético-corpúscular da matéria.

Atividade Laboratorial 4

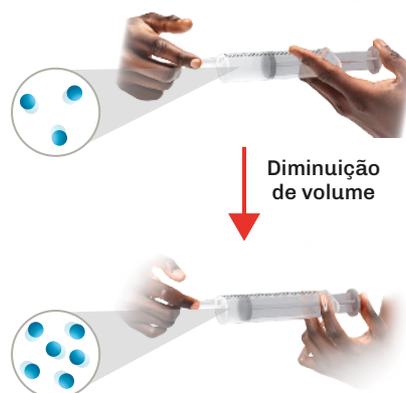
Natureza cinético-corpúscular da matéria – Parte I

Material:

- 2 seringas de 10 mL;
- Água.

Procedimento experimental:

- 1 Colocar cerca de 7 mL de água numa das seringas.
- 2 Puxar o êmbolo da outra seringa, enchendo-a de ar até ao mesmo volume usado em 1.
- 3 Tapar com o dedo a extremidade da seringa e empurra os êmbolos de ambas as seringas.



Observações e conclusões:

- 1 Foi possível comprimir o ar? E a água? O que podes concluir?
- 2 Em qual das seringas foi possível comprimir mais o seu conteúdo? O que podes concluir?

Natureza cinético-corpúscular da matéria – Parte II

Material:

- 2 gobelés iguais;
- Permanganato de potássio (sólido ou em solução aquosa concentrada);
- Água;
- Espátula.



Procedimento experimental:

- 1 Colocar água à temperatura ambiente no gobelé 1.
- 2 Aquecer água até 60 °C no gobelé 2 (ou colocar água previamente aquecida).
- 3 Colocar em cada um dos gobelés a mesma quantidade de permanganato de potássio.
- 4 Observa o comportamento do conteúdo dos dois gobelés durante cerca de 3 minutos.

Observações e conclusões:

- 1 O que foi possível observar no gobelé 1? E no 2? O que podes concluir?
- 2 Em qual dos gobelés foi mais rápida a uniformização da cor? O que podes concluir?

Energia interna e movimentos corpúsculares

As partículas constituintes de um determinado sistema têm vários tipos de energia:

- energia associada aos átomos (nuclear e eletrónica);
- energia associada às moléculas (ligações químicas e movimentos rotacional, translacional e vibracional);
- energia associada às ligações intermoleculares.

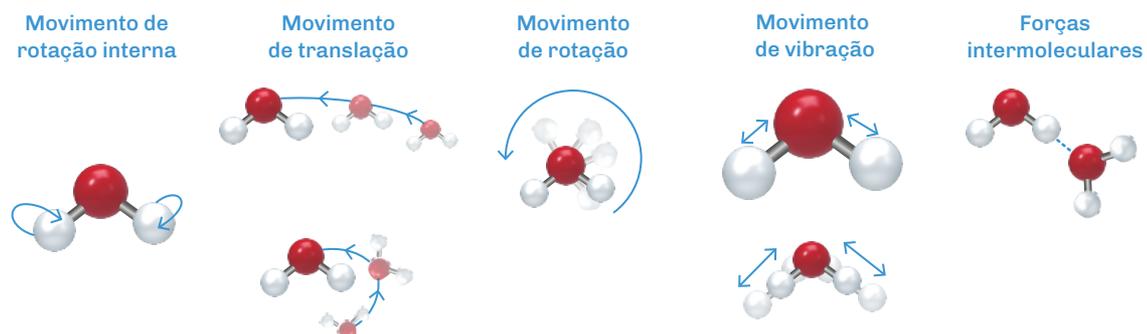


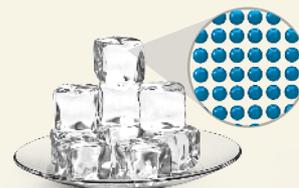
Fig. 1 Energia associada ao movimento das moléculas (energia cinética) e interações entre as moléculas (ligações ou forças intermoleculares).

A **energia interna, U** , de um sistema corresponde à soma de todas as energias cinéticas e potenciais associadas às partículas que compõem o sistema.

Energia interna, movimentos corpusculares e estados físicos

Os **estados físicos** da matéria devem ser interpretados tendo por base a **energia interna** e a **liberdade de movimento** das partículas constituintes.

No **estado sólido** a energia interna existe principalmente na forma de energia vibracional, pois as moléculas vibram em posições fixas muito próximas umas das outras, não tendo liberdade de movimento. As interações entre as partículas são muito intensas levando a que os seus movimentos sejam praticamente nulos. O espaço vazio entre moléculas num sólido é muito menor do que num líquido. Por essas razões os sólidos são quase incompressíveis e têm forma própria e volume constante.



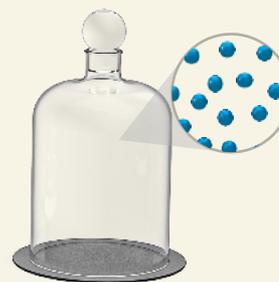
Estado sólido

No **estado líquido** a energia interna resulta de uma combinação de energias vibracionais, rotacionais e algumas translacionais. As partículas têm mais liberdade de movimento do que nos sólidos porque as forças entre as partículas são mais fracas. As partículas podem mudar de posição relativa, embora não se afastando umas das outras, o que justifica que a forma dos líquidos seja variável (adaptável ao recipiente) mas o volume que ocupam seja constante, dado que as moléculas não são capazes de vencer completamente as forças atrativas que tendem a agregá-las.



Estado líquido

No **estado gasoso**, à temperatura e pressão usuais (25 °C e 1 atm), as moléculas estão muito distantes umas das outras, movendo-se livremente, resultando em elevadas energias cinéticas translacionais e rotacionais, não existindo interações apreciáveis entre as moléculas. Dado existir muito espaço vazio, os gases são facilmente compressíveis. A ausência de interações fortes entre as moléculas permite que o gás se expanda de modo a ocupar todo o volume do recipiente onde está contido, movendo-se de forma desorganizada e aleatória.



Estado gasoso

Quadro 1 Os estados físicos da matéria segundo a energia interna e a liberdade de movimento das partículas constituintes.

A energia interna varia com a variação da temperatura e com mudanças de estado físico:

- aumenta com o aumento da temperatura e com as mudanças de estado físico de sólido para líquido e de líquido para gás.
- diminui com a diminuição da temperatura e com as mudanças de estado físico de líquido para sólido e de gás para líquido.

Quando um material é aquecido ou arrefecido, podem ocorrer variações de temperatura ou mudanças de estado físico (**figura 2**):

- Quando a energia é fornecida para elevar a temperatura, as partículas aumentam a sua velocidade de agitação, o que aumenta a sua energia cinética.
- Durante uma mudança de fase, como a fusão ou a evaporação, a energia interna da substância aumenta a temperatura constante. Por exemplo, quando o gelo funde por aquecimento, o calor é absorvido, aumentando a energia interna. Essa energia é usada para superar as fortes interações entre as partículas das substâncias (forças intermoleculares) que mantêm as moléculas de água numa estrutura sólida, permitindo o seu movimento mais livre, transformando-se num líquido. Da mesma forma, durante a evaporação, a energia interna aumenta à medida que a energia é usada para quebrar as forças intermoleculares quase completamente, transformando o líquido num gás.

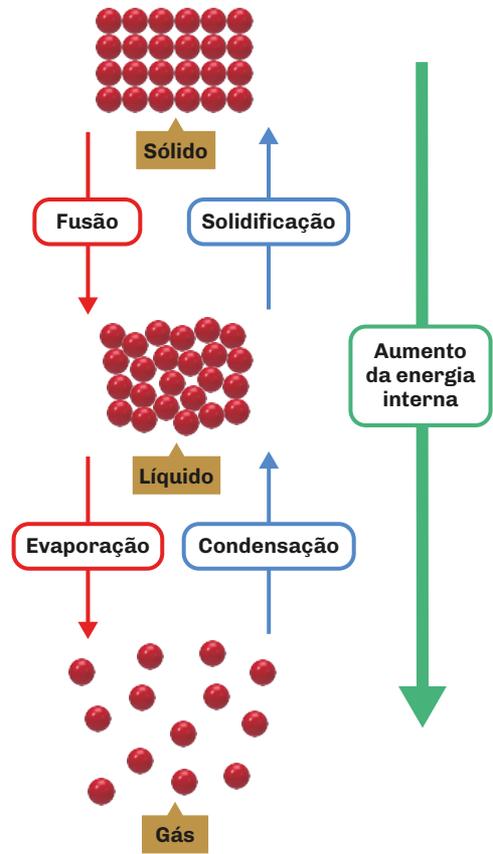


Fig. 2 Variação da energia interna nos diferentes estados da matéria.

Exercício resolvido

- 1 Estabelece a correspondência correta entre as letras da tabela seguinte.

Estados físicos	Características	Intensidade das interações
A – Gases	a) São altamente compressíveis, assumem a forma e o volume do recipiente.	i) As moléculas estão unidas de forma tão rígida, por ação de interações muito fortes, que não conseguem deslizar facilmente umas sobre as outras.
B – Líquidos	b) São incompressíveis e têm forma e volume definidos.	ii) As moléculas estão sujeitas a interações de intensidade intermédia quando comparadas com os outros dois estados físicos.
C – Sólidos	c) São quase incompressíveis, assumem a forma, mas não o volume do recipiente.	iii) As moléculas, por estarem sujeitas a interações mais fracas estão separadas e não interagem muito significativamente entre si.

Resolução:

1. A – a – iii; B – c – ii; C – b – i.

Interações entre as partículas das substâncias

No 9.º ano estudámos os tipos de ligações químicas estabelecidas entre átomos e entre iões para a formação das diferentes substâncias (covalentes, iónicas e metálicas). Vamos agora abordar as ligações que se estabelecem entre moléculas – as **ligações intermoleculares** –, de intensidade geralmente inferior às anteriores e que são responsáveis pela coesão dos materiais.

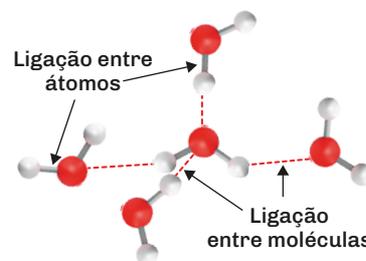


Fig. 3 Ligações entre átomos e entre moléculas (intermoleculares).

As **ligações covalentes, iónicas e metálicas**, que se estabelecem entre átomos e entre iões, são responsáveis pelas propriedades químicas das substâncias.

As **ligações intermoleculares**, que se estabelecem entre moléculas, são, regra geral, mais fracas do que as anteriores e delas dependem algumas das propriedades físicas das substâncias.

Neste capítulo, iremos estudar as interações intermoleculares designadas por **forças de van der Waals** e **ligações de hidrogénio** (ou pontes de hidrogénio).

Forças de van der Waals

As forças atrativas e repulsivas entre moléculas resultam do facto de as moléculas serem polares ou poderem ser polarizadas num dado momento.

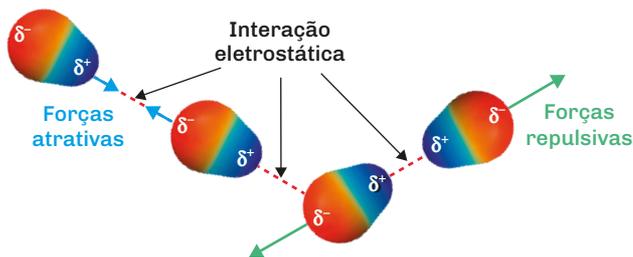
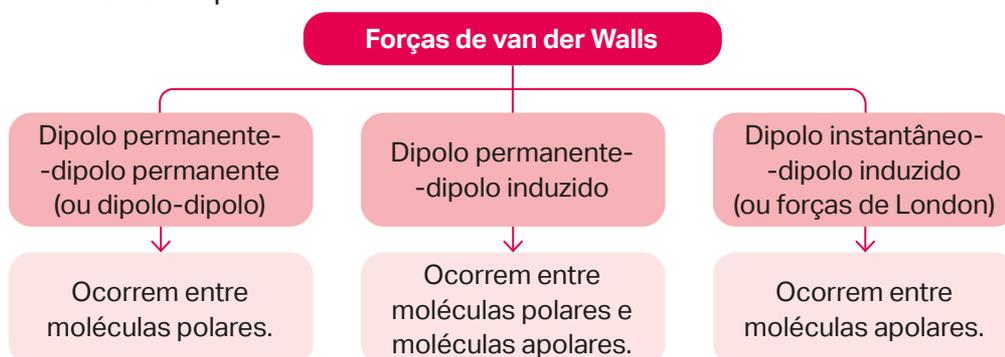


Fig. 4 Forças intermoleculares entre moléculas. Os modelos usados são modelos simplificados de moléculas com distribuição assimétrica de carga eléctrica (polar), designada por dipolo. A região de maior densidade eletrónica é representada a vermelho (δ^-) e a de menor densidade, a azul (δ^+).

De acordo com a polaridade das moléculas em interação, as forças de van der Waals podem ser de três tipos:



• Dipolo permanente-dipolo permanente

As interações de natureza eletrostática, que ocorrem entre moléculas polares, resultam da existência de uma distribuição assimétrica de carga elétrica na molécula.

A **figura 5** representa esquematicamente as forças de interação existentes entre moléculas polares (por exemplo, HCl): o sinal + representa a zona da molécula com menor densidade eletrónica (criando um "polo" positivo, δ^+) e o sinal - representa a zona da molécula com maior densidade eletrónica ("polo" negativo, δ^-). Sobre os tracejados encontram-se representadas as forças atrativas e repulsivas existentes entre os dois polos da molécula.

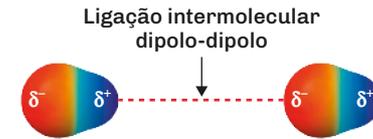


Fig. 5 Forças intermoleculares entre moléculas polares: dipolo-dipolo.

• Dipolo permanente-dipolo induzido

Este tipo de interação entre moléculas polares e apolares resulta da indução de uma distribuição assimétrica de carga elétrica na molécula apolar (criação de uma polaridade induzida) por parte da molécula polar (com polaridade permanente).

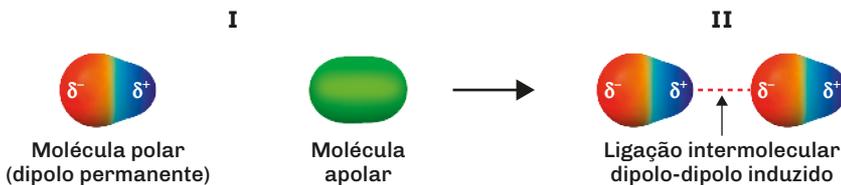


Fig. 6 Representação esquemática da formação de um dipolo induzido e das forças de atração entre os dipolos (II) a partir da interação entre uma molécula polar e outra apolar (I). O modelo verde representa a simplificação de uma molécula com distribuição simétrica de carga elétrica (apolar).

Formados os dipolos induzidos, as ligações dipolo-dipolo induzido comportam-se de forma semelhante às ligações dipolo-dipolo, tendo, contudo, menor intensidade.

• Dipolo instantâneo-dipolo induzido

Estas forças atrativas, as únicas possíveis entre moléculas apolares, também se designam por **forças de dispersão de London**. A distorção momentânea da nuvem eletrónica de uma molécula (formando um dipolo instantâneo) induz a criação de um dipolo na molécula ao lado (dipolo induzido).

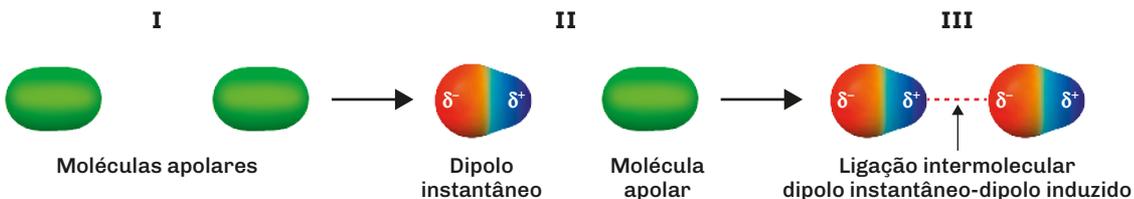


Fig. 7 Representação esquemática da formação de um dipolo instantâneo (II) e de um dipolo induzido (III). Os gases nobres, cujas unidades estruturais são átomos, também se ligam por forças de dispersão de London.

A intensidade das ligações intermoleculares é tanto maior quanto maiores forem as moléculas (mais facilmente polarizáveis por terem elétrons mais afastados do núcleo). Este facto justifica, por exemplo, os diferentes estados de agregação da matéria (estados físicos), pontos de fusão e pontos de ebulição dos halogéneos (quadro 2).

Molécula	Massa molar /g mol ⁻¹	Ponto de fusão/°C	Ponto de ebulição/°C	Estado físico a 0 °C e 1 atm
Cl ₂	70,9	- 102	- 34	Gasoso
Br ₂	159,8	- 7	59	Líquido
I ₂	253,8	83	184	Sólido

Quadro 2 Pontos de fusão e de ebulição em função da massa molar das moléculas apolares constituintes de uma substância elementar. Se não existissem forças de dispersão de London (dipolo instantâneo-dipolo induzido) estas moléculas apolares apenas poderiam existir no estado gasoso.

Ligações de hidrogénio

O gráfico ao lado apresenta os pontos de ebulição de diferentes substâncias moleculares polares de estrutura semelhante (H₂X, HX e XH₃, em que X representa átomos de elementos dos 2.º, 3.º, 4.º e 5.º períodos da TP).

Se repararmos nos pontos de ebulição das substâncias H₂O, HF e NH₃, verificamos que são muito superiores ao que se esperaria, considerando o modo de variação ao longo de cada uma das três séries de compostos de cada tipo. Os dados do gráfico mostram que as forças intermoleculares entre as moléculas na água (H₂O), no fluoreto de hidrogénio (HF) e no amoníaco (NH₃) são muito superiores ao esperado.

O que terão estas moléculas de especial?

Entre as moléculas de cada uma destas substâncias estabelecem-se forças de van der Waals, no entanto, em H₂O, HF e NH₃ acrescem ainda as **ligações de hidrogénio**, que são **mais fortes** do que as outras ligações intermoleculares.

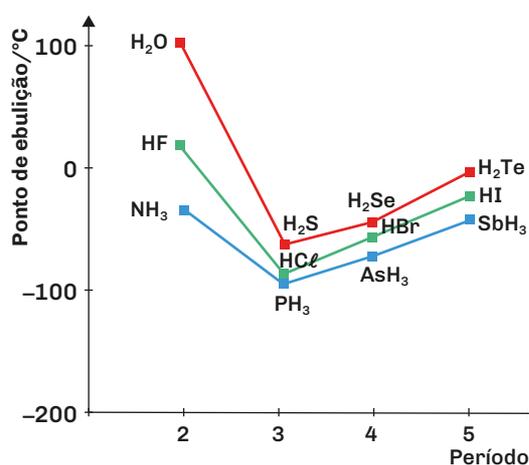


Fig. 8 Pontos de ebulição de diferentes substâncias.

As ligações de hidrogénio estabelecem-se entre moléculas polares H – X, sendo X um átomo muito eletronegativo (com grande tendência para captar eletrões, como N, O e F). Pelo facto de o átomo de H partilhar na ligação o seu único eletrão, o núcleo fica muito desprotegido (envolto por uma nuvem eletrónica reduzida) e as forças atrativas são especialmente maiores quando comparando com outras moléculas polares.



Fig. 9 Representação esquemática da formação de ligações de hidrogénio.

Este tipo de ligações pode ocorrer entre moléculas iguais ou diferentes (**figura 10**).

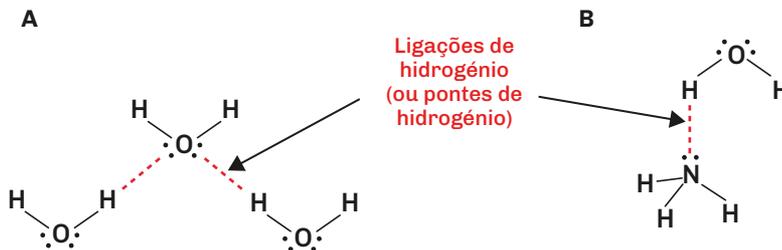


Fig. 10 **A** – ligação de hidrogénio estabelecida entre o hidrogénio e o oxigénio nas moléculas de água; **B** – ligação de hidrogénio estabelecida entre o hidrogénio da água e o nitrogénio do amoníaco.

Exercício resolvido

- 2** Indica, justificando, o tipo de ligação química que prevalece entre os seguintes conjuntos de unidades estruturais da matéria:
- | | |
|---|---|
| 2.1 HBr e HBr; | 2.2 H ₂ O e H ₂ O; |
| 2.3 H ₂ O e Cl ₂ ; | 2.4 H ₂ e H ₂ ; |
| 2.5 H ₂ O e HBr; | 2.6 He e He. |

Resolução:

- 2.1.** e **2.5.** Dipolo-dipolo, dado que são as ligações que prevalecem entre moléculas polares que não possuem, ambas, átomos de hidrogénio ligados a átomos muito eletronegativos (ex.: F e O).
- 2.2.** Ligação de hidrogénio, dado que as moléculas são polares e que cada molécula possui um átomo de hidrogénio ligado a um átomo muito eletronegativo (o oxigénio).
- 2.3.** Dipolo-dipolo induzido, ligação estabelecida entre uma molécula polar (H₂O) e outra apolar (Cl₂).
- 2.4.** e **2.6.** Dipolo instântaneo-dipolo induzido (ou forças de dispersão de London), a ligação é estabelecida entre unidades estruturais apolares.

Forças intermoleculares e propriedades físicas das substâncias

As forças ou ligações intermoleculares são responsáveis pelo estado físico (estado de agregação da matéria), pela grandeza dos pontos de fusão e de ebulição, pela massa volúmica e pela solubilidade das substâncias.

Forças intermoleculares, estados físicos e densidade

Já estudámos que ligações intermoleculares fortes resultam em estados físicos condensados, porque as moléculas estão muito unidas. Os sólidos têm interações mais fortes do que os líquidos, que, por sua vez, têm interações mais fortes do que os gases, nos quais elas são praticamente inexistentes. De forma genérica, quanto **mais fortes forem as interações, maior será a densidade** da fase.

Os sólidos são mais densos do que os líquidos da mesma substância, os quais são mais densos do que os gases. Contudo, a água é uma exceção – o gelo é menos denso do que a água líquida.

Forças intermoleculares e temperaturas de fusão e ebulição

A análise dos dados da tabela seguinte permite inferir que as forças intermoleculares aumentam de intensidade do metano até à água. Os pontos de fusão (p.f.) dependem também da forma das moléculas. Os pontos de ebulição (p.e.) variam regularmente com a intensidade das forças intermoleculares.

Substância	Metano CH ₄	Etano CH ₃ -CH ₃	Propano CH ₃ -CH ₂ -CH ₃	Propanona CH ₃ -CO-CH ₃	Etanol CH ₃ -CH ₂ OH	Água H ₂ O
p.f./°C	-182,5	-183,3	-187,7	-94,7	-114,5	0
p.e./°C	-161,7	-88,6	-42,0	56,1	78,5	100

Tabela 2 Pontos de fusão (p.f.) e de ebulição (p.e.) de alguns compostos.

Quanto maior for a intensidade das forças intermoleculares, maior será a coesão entre as moléculas e maiores serão, genericamente, os pontos de fusão e de ebulição.

Forças intermoleculares e miscibilidade

A miscibilidade de substâncias está relacionada com as ligações intermoleculares que se estabelecem entre as moléculas.

Por que razão o azeite não é miscível com a água, mas o etanol (álcool etílico) é?

Quando o etanol se mistura com a água, dá-se a rutura das ligações intermoleculares no etanol e as suas moléculas introduzem-se entre as moléculas de água, quebrando ligações água-água. Para que o processo ocorra, é necessário que a energia absorvida na rutura das ligações intermoleculares água-água e etanol-etanol seja próxima da energia libertada na formação das novas ligações etanol-água, o que se verifica. Ocorre, por isso, a mistura do etanol e da água.

No caso da mistura azeite-água, embora as ligações azeite-azeite sejam fracas e fáceis de quebrar, as ligações água-água são muito fortes e difíceis de quebrar. Por isso, o azeite e a água não são miscíveis.



e Manual Digital

Vídeo
Miscibilidade de líquidos



Regra geral da miscibilidade: “**semelhante dissolve semelhante**” ou “**polar dissolve polar e apolar dissolve apolar**”.

Em suma, por apresentarem forças intermoleculares de intensidade semelhante:

- líquidos formados por moléculas polares (nos quais prevalecem ligações do tipo dipolo-dipolo ou ligações de hidrogénio) são miscíveis em moléculas polares;
- líquidos formados por moléculas apolares (nos quais prevalecem ligações do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido) são miscíveis em moléculas apolares.

Atividade Laboratorial 5

Miscibilidade entre líquidos

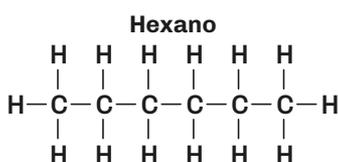
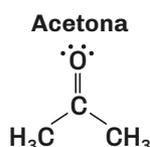
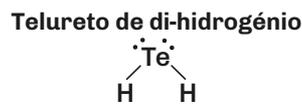
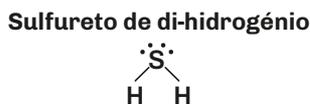
- 1 Planifica uma atividade laboratorial (AL) que permita testar a miscibilidade entre os seguintes líquidos: água, etanol, acetona e hexano.
- 2 Elabora um quadro, semelhante ao proposto a seguir, e regista as tuas previsões relativamente à miscibilidade entre os quatro líquidos.

	Água	Etanol	Acetona
Etanol	(a)		
Acetona	(b)	(d)	
Hexano	(c)	(e)	(f)

- 3 Após a realização da AL confronta as tuas previsões com as observações e conclusões.

Exercício resolvido

- 3 Considera as fórmulas de estrutura de Lewis das moléculas das seguintes substâncias:

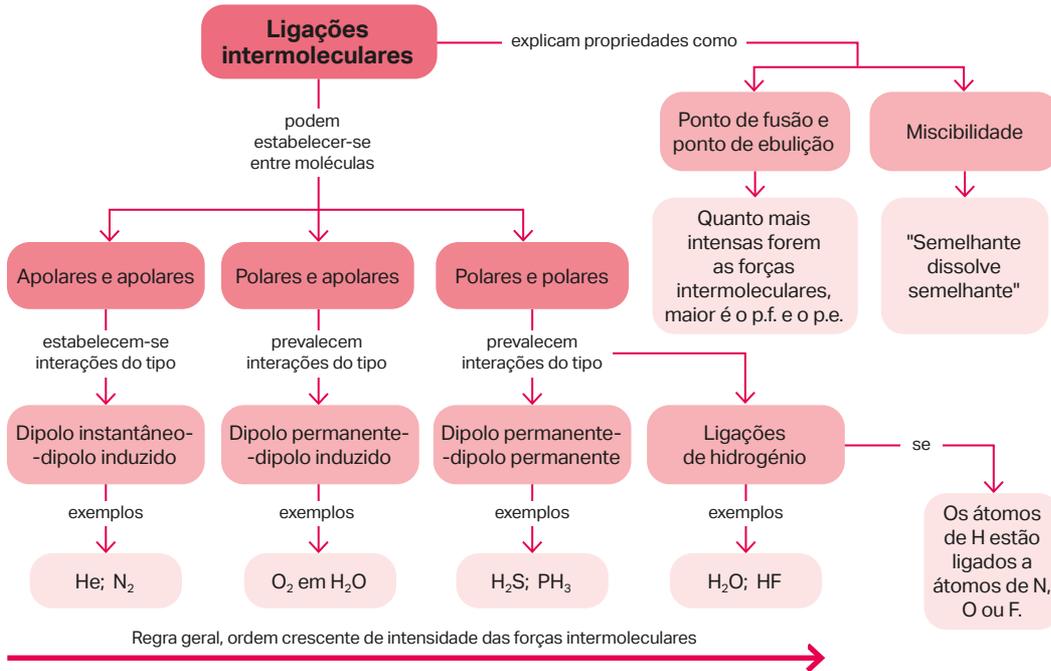


- 3.1 Justifica o facto de a água, à temperatura ambiente, se encontrar no estado líquido, enquanto o sulfureto de di-hidrogénio, H_2S , e o telureto de di-hidrogénio, H_2Te , se encontram no estado gasoso.
- 3.2 Explica o facto de a acetona ser miscível em água e o hexano não.

Resolução:

- 3.1. Entre as moléculas de água, H_2O , prevalecem as ligações de hidrogénio, enquanto entre as moléculas de sulfureto de di-hidrogénio, H_2S , e de telureto de di-hidrogénio, H_2Te , prevalecem ligações dipolo-dipolo. Dado que as ligações que prevalecem entre as moléculas de H_2O são mais intensas do que as estabelecidas entre as moléculas de H_2S e de H_2Te , será necessário fornecer mais energia para quebrar as ligações entre as moléculas de H_2O do que em H_2S e H_2Te , para que a substância passe de um estado de agregação mais organizado para um estado menos organizado. Assim, à temperatura ambiente, a água encontra-se no estado líquido, enquanto o sulfureto de hidrogénio e o telureto de hidrogénio se encontram no estado gasoso.
- 3.2. A água e a acetona são formadas por moléculas polares, em que prevalecem ligações de hidrogénio e ligações dipolo-dipolo, respetivamente. O hexano é constituído por moléculas apolares, em que prevalecem ligações do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido. Dado que a energia absorvida na rutura das ligações intermoleculares água-água e acetona-acetona é próxima da energia libertada na formação das novas ligações acetona-água, quando a acetona se mistura com a água, dá-se a rutura das ligações intermoleculares na acetona e as suas moléculas introduzem-se entre as moléculas de água, partindo ligações água-água, ocorrendo, por isso, a miscibilidade. No caso da mistura de hexano e água, embora as ligações hexano-hexano sejam fracas e fáceis de quebrar, as ligações água-água são muito fortes e difíceis de quebrar. Por isso, o hexano e a água são imiscíveis.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **energia interna** (U) de um sistema corresponde à soma de todas as energias cinéticas e potenciais associadas às partículas que compõem o sistema.
- A energia interna varia consoante a temperatura e com mudanças de estado físico: aumenta com o aumento da temperatura e com mudanças de estado físico de sólido para líquido e de líquido para gás e diminui com a diminuição da temperatura e com mudanças de estado físico de líquido para sólido e de gás para líquido.
- As ligações covalentes, iónicas e metálicas são responsáveis pelas propriedades químicas das substâncias. As ligações intermoleculares são, regra geral, mais fracas e delas dependem algumas das propriedades físicas das substâncias.
- As **ligações intermoleculares** podem ser **ligações de van de Waals** e **ligações de hidrogénio**.
- As forças de van der Waals podem ser de três tipos: dipolo permanente-dipolo permanente (resultam das interações entre moléculas polares); dipolo permanente-dipolo induzido (resultam das interações entre moléculas polares e apolares); dipolo instantâneo-dipolo induzido ou forças de dispersão de London (resultam das interações entre moléculas apolares). As ligações de hidrogénio estabelecem-se entre moléculas polares $H - X$ (em que X é um átomo muito eletronegativo, como N , O e F).
- Quanto maior for a intensidade das forças intermoleculares, maior será a coesão entre as moléculas e maiores serão os pontos de fusão e de ebulição e, em geral, a densidade.
- A miscibilidade de líquidos relaciona-se com as ligações intermoleculares que se estabelecem entre as moléculas. Regra geral: "**semelhante dissolve semelhante**".

Exercícios de aplicação

1 Completa corretamente as frases seguintes:

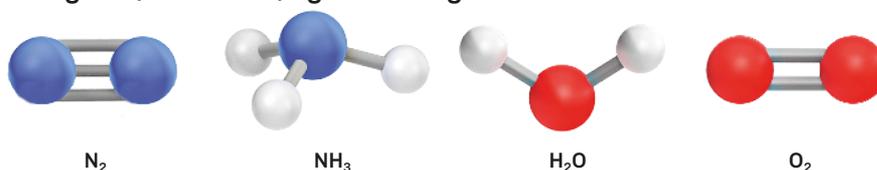
- (A) A energia interna⁽¹⁾..... com o aumento da temperatura e com, por exemplo, a mudança de estado físico de sólido para líquido e⁽²⁾..... com a diminuição da temperatura e com, por exemplo, a mudança de estado físico de líquido para sólido.
- (B) Com bases nas características das unidades estruturais, as ligações intermoleculares podem ser ligações de⁽³⁾..... ou ligações de⁽⁴⁾.....
- (C) De acordo com a polaridade das moléculas em interação, as forças de van der Waals podem ser de três tipos:⁽⁵⁾..... (entre moléculas polares), dipolo permanente-dipolo induzido (entre moléculas⁽⁶⁾..... e⁽⁷⁾.....), dipolo instantâneo-dipolo induzido ou⁽⁸⁾..... (resultam das interações entre moléculas⁽⁹⁾.....).
- (D) As⁽¹⁰⁾..... são forças intermoleculares que prevalecem quando um átomo de hidrogénio se encontra ligado a um átomo de um elemento muito eletronegativo:⁽¹¹⁾.....,⁽¹²⁾..... e/ou⁽¹³⁾.....
- (E) Quanto⁽¹⁴⁾..... for a intensidade das forças intermoleculares, maior será a coesão entre as moléculas e⁽¹⁵⁾..... serão o ponto de fusão, o ponto de ebulição e a densidade da substância.

2 Na tabela seguinte apresentam-se os pontos de ebulição de duas substâncias:

Substância	Fórmula molecular	Ponto de ebulição/°C
A	CH ₄	- 162
B	CH ₃ OH	64

- 2.1. Identifica o tipo de ligações intermoleculares estabelecidas entre as moléculas da substância A e entre as moléculas da substância B.
- 2.2. Justifica a diferença de valores do p.e. das substâncias consideradas.

3 As figuras seguintes pretendem representar, por modelos, as moléculas de dinitrogénio, amoníaco, água e dióxigénio.



- 3.1. Que tipo de ligação intermolecular prevalece entre as moléculas de:
(a) N₂ e N₂ **(b)** NH₃ e NH₃ **(c)** N₂ e O₂ **(d)** NH₃ e H₂O **(e)** H₂O e O₂
- 3.2. Explica o facto de o amoníaco ser miscível em água.

3.2. Estrutura e propriedades dos sólidos, líquidos e gases

Estrutura e propriedades dos sólidos

A maioria dos sólidos com que lidamos no nosso dia a dia são cristalinos. No entanto, algumas substâncias de grande importância na sociedade atual são sólidas amorfas (ou não cristalinas). São exemplos deste último grupo o vidro e vários polímeros, ceras, géis e tecidos biológicos.

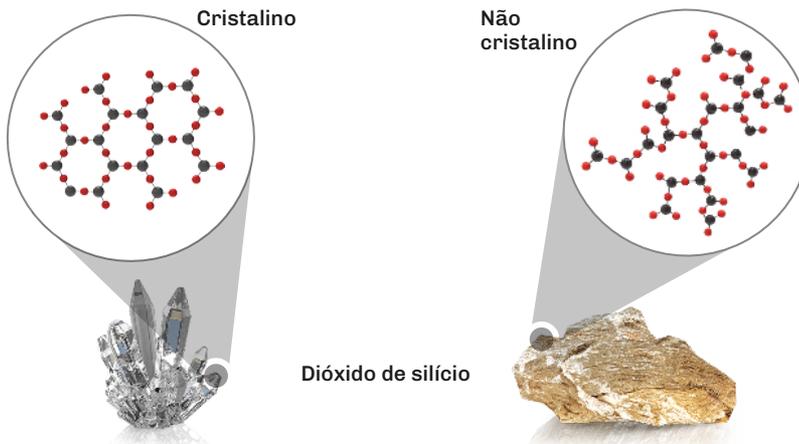


Fig. 11 Diferença entre um arranjo cristalino e um não cristalino.

Um **crystal** é um material no qual as unidades estruturais se encontram organizadas de uma forma repetida e regular no espaço tridimensional.

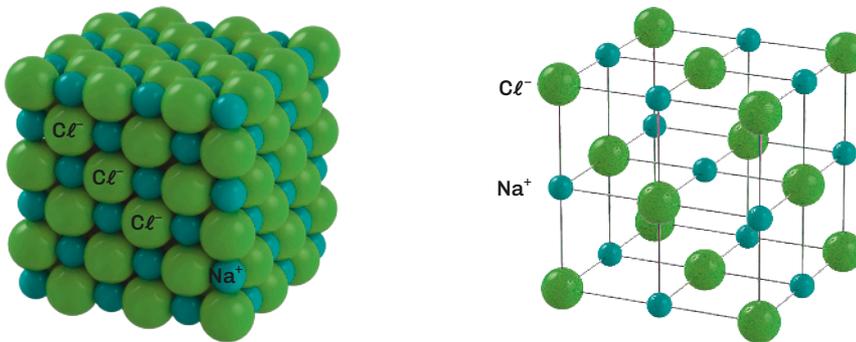
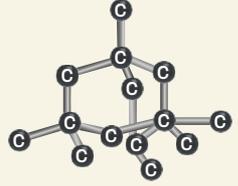
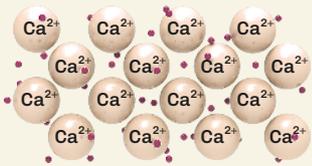


Fig. 12 Representações espaciais do Na⁺ e do Cl⁻ na rede (conjunto tridimensional de pontos repetidos regularmente) cristalina.

Os sólidos cristalinos podem ser divididos e classificados, com base no tipo de ligação entre as partículas que os constituem, em:

- sólidos não metálicos (iônicos, covalentes, moleculares);
- sólidos metálicos.

O **quadro 3** caracteriza e compara os sólidos cristalinos com base no tipo de ligação que mantém a coesão.

Sólidos cristalinos	Unidades que os constituem	Tipo de ligação que mantém a coesão	Propriedades características	Exemplos	Energia de coesão /kJ mol ⁻¹	Representação simbólica	
Não metálicos	Iônicos	Iões	Iônica	Duros, quebradiços, não voláteis, p.f. e p.e. elevados, maus condutores de calor e de eletricidade.	NaCl LiF AgCl ZnO	779 1032 904 4033	
	Moleculares	Átomos ou moléculas	Van der Waals e/ou ligações de hidrogénio	Pouco duros, voláteis, p.f. e p.e. baixos, maus condutores de calor e de eletricidade.	Ar Cl ₂ CO ₂ CH ₄	6,5 20,4 25,2 8,2	
	Covalentes	Átomos	Covalente	Duros, não voláteis, p.f. e p.e. elevados, maus condutores de calor e de eletricidade.	Diamante Si SiO ₂	711 439 1812	
Metálicos	Átomos	Metálica	Geralmente duros, dúcteis e maleáveis, bons condutores de calor e de eletricidade.	Ca Al Fe W	176 322 414 837		

Quadro 3 Classificação de sólidos cristalinos com base no tipo de ligação. Quanto maior for a energia de coesão, maior será a energia necessária para separar as unidades que constituem o sólido.

Os sólidos **metálicos** distinguem-se dos **não metálicos** por serem dúcteis e maleáveis, bons condutores de calor e de eletricidade e por apresentarem ligações mais fracas. Os sólidos **covalentes** ou **iônicos** são duros e apresentam p.f. e p.e. elevados, enquanto nos sólidos **moleculares** essas propriedades são mais moderadas.

Sólidos metálicos

Como se pode concluir da análise do **quadro 3**, uma das principais características dos metais, e que os distingue dos restantes sólidos cristalinos, é apresentarem elevada condutividade elétrica. Esta, como outras propriedades, é consequência da configuração eletrónica dos elementos metálicos.



Vídeo
Ligação química:
ligações
metálica, iónica
e covalente



Os átomos de um metal possuem várias orbitais de valência vazias, um menor número de elétrons do que as orbitais de valência que possuem para preencher, com tendência a perdê-los devido à sua baixa energia de ionização. Conseqüentemente, esses elétrons “escapam” com facilidade de um átomo, podendo ir ocupar orbitais vazias de outros átomos do mesmo elemento.

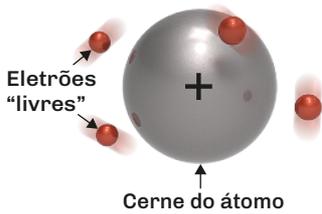


Fig. 13 Elétrons “livres” e cerne do átomo.

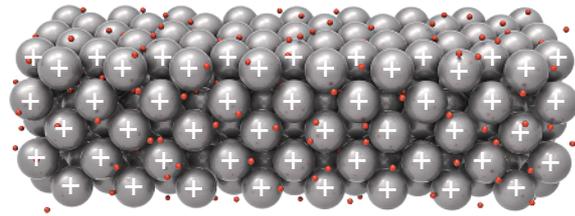


Fig. 14 Representação do modelo da ligação metálica.

Segundo a designada teoria da “nuvem eletrônica” ou “mar de elétrons”, os átomos destes elementos metálicos perdem os seus elétrons de valência, transformando-se em catiões (**figura 13**). Estes cernes dos átomos posicionam-se ordenadamente, formando as designadas redes metálicas, onde os elétrons transitam livremente entre os catiões, anulando assim as forças de repulsão entre estes (**figura 14**).

A **ligação metálica** resulta da partilha dos elétrons de valência deslocizados pelos átomos do metal. A estabilidade da ligação metálica advém das interações entre esses elétrons e os cernes dos átomos do metal.

Características dos sólidos metálicos	São bons condutores da eletricidade .	Os metais apresentam-se brilhantes .	A generalidade dos metais é maleável .	Os metais são dúcteis .
Exemplos de aplicação	 O cobre usa-se em fios condutores elétricos. Por vezes utilizam-se fios revestidos a ouro, porque é ainda melhor condutor elétrico do que o cobre.	 Permite o seu uso em decoração de edifícios, esculturas, etc.	 O metal mais maleável é o ouro. Esta propriedade permite trabalhar facilmente este metal, por exemplo, nas ourivesarias.	 O metal mais dúctil é a platina. O aço é uma liga metálica comum, que permite variar a sua ductilidade consoante a sua composição.

Quadro 4 Características e exemplos dos sólidos metálicos.

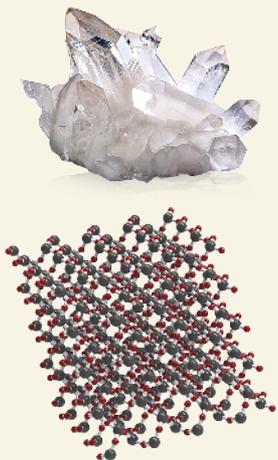
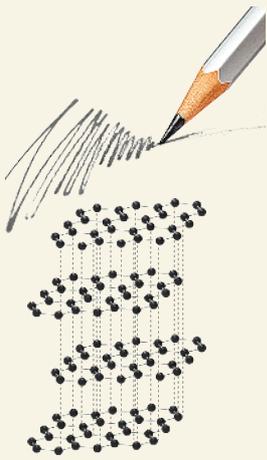
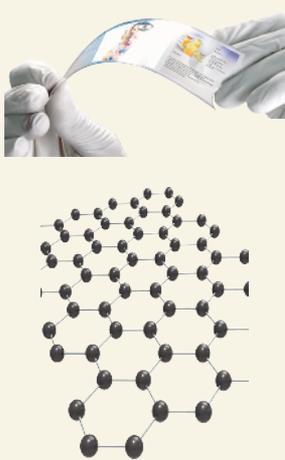
A condutividade elétrica, o brilho, a maleabilidade e a ductilidade são propriedades dos metais que se podem interpretar com base nos elétrons de valência do metal.

Cristais covalentes

Além dos exemplos que se encontram no **quadro 3**, existem outros muito interessantes de cristais covalentes a considerar: as macromoléculas covalentes.

As **macromoléculas covalentes** são “estruturas gigantes”, nas quais se encontra um enorme número de átomos reunidos por ligações covalentes.

A tabela seguinte ilustra como exemplos de cristais covalentes a sílica (dióxido de silício – SiO_2), a grafite e o grafeno.

Sílica ou quartzo	Grafite	Grafeno
		
<p>Macroestrutura constituída por átomos de silício e oxigénio: existe um átomo de Si entre cada par de átomos de O.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Computadores – osciladores de quartzo criam frequências precisas usadas como uma espécie de relógio para determinar o ritmo de funcionamento dos computadores. • Construção civil – serve de matéria-prima para vários produtos da construção civil, como areia e fabrico de vidro. • Relojoaria – utilizado para realizar a contagem dos segundos em relógios de pulso. • Comunicações e Medicina – utilizado no fabrico de fibras óticas. 	<p>Macroestrutura constituída apenas por átomos de carbono.</p> <p>Contrariamente aos outros exemplos de cristais covalentes apresentados no quadro 3, a grafite é um sólido mole (usado nos lápis); conduz a eletricidade e possui uma estrutura cristalina menos compacta do que o diamante (constituído também por átomos de carbono).</p>	<p>Macroestrutura constituída apenas por átomos de carbono</p> <p>O grafeno é um material bidimensional, que consiste numa única camada de átomos de carbono ligados numa rede hexagonal e apresenta altíssimas mobilidades eletrónicas mesmo à temperatura ambiente, tornando-se um forte candidato para substituir o silício em nanodispositivos eletrónicos.</p> <p>É, atualmente, o material mais forte que existe, podendo ser até cem vezes mais forte do que o aço. Como condutor de eletricidade, o grafeno é tão bom quanto o cobre.</p>

Quadro 5 Exemplos e aplicações de cristais covalentes.

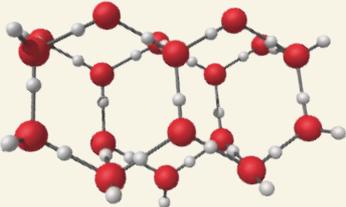
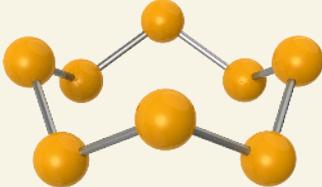
Cristais moleculares

Num cristal molecular, os nós da rede são ocupados por moléculas e as forças atrativas entre elas são forças intermoleculares (maioritariamente de van der Waals, e, em alguns casos, ligações de hidrogénio, como, por exemplo, no gelo).

Cristais moleculares são substâncias sólidas constituídas por moléculas organizadas de maneira regular que se mantêm unidas por ligações intermoleculares.

Devido ao facto de as ligações intermoleculares serem mais fracas do que as ligações covalentes e iónicas, os cristais moleculares desagregam-se mais facilmente do que os cristais iónicos e covalentes.

O gelo, o iodo e o enxofre são alguns exemplos de estruturas que pertencem a este tipo de sólidos.

Gelo (H_2O)	Iodo (I_2)	Enxofre (S_8)
		
<p>Floco de neve</p>	<p>Iodo a sublimar</p>	<p>Enxofre a ser retirado de uma zona vulcânica na Indonésia</p>
		
<p>Estrutura do gelo</p>	<p>Estrutura do iodo</p>	<p>Estrutura do enxofre</p>
<p>As ligações estabelecidas entre as moléculas de água são ligações de hidrogénio. Caracteriza-se por uma estrutura tridimensional muito aberta, em que cada molécula de água interatua com três moléculas através de ligações de hidrogénio.</p>	<p>Dado tratar-se de moléculas apolares, as forças de coesão existente entre elas são do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido. Pode sublimar por aquecimento, isto é, pode passar diretamente do estado sólido ao estado gasoso.</p>	<p>Dado tratar-se de moléculas apolares, as forças de coesão existente entre elas são do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido. A principal utilização do enxofre a nível industrial é na produção do ácido sulfúrico que, por sua vez, é bastante utilizado no fabrico de diversos produtos.</p>

Quadro 6 Exemplos de cristais moleculares.

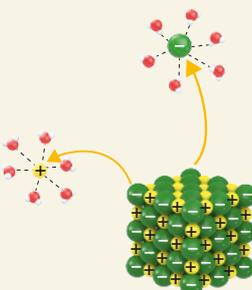
Cristais iônicos

Os sólidos iônicos são compostos cujas unidades estruturais são iões (catiões e aniões) que se mantêm unidos por forças eletrostáticas. Como vimos no **quadro 3**, devido à elevada força destas interações, os sólidos iônicos tendem a ser duros, quebradiços e ter elevados pontos de fusão. Estes sólidos são ainda maus condutores de eletricidade, exceto quando os seus iões são móveis, como acontece quando dissolvidos em solução.

A maioria dos sólidos moleculares e dos sólidos iônicos dissolvem-se em água, sendo que esta propriedade depende da polaridade das moléculas (no caso dos sólidos moleculares) e da diferença de tamanho e de carga entre os iões que formam o composto (caso dos sólidos iônicos).

Os catiões e os aniões de um sólido iónico estão organizados numa estrutura reticular que maximiza as forças de atração entre cargas opostas e minimiza as forças de repulsão entre cargas iguais.

O cloreto de sódio, o bicarbonato de sódio e o nitrato de cálcio são alguns exemplos de estruturas que pertencem a este tipo de sólidos, que fazem parte do nosso dia a dia.

Cloreto de sódio (NaCl)	Bicarbonato de sódio (NaHCO ₃)	Nitrato de cálcio (Ca(NO ₃) ₂)
 <p>Cristais de cloreto de sódio</p>  <p>Cristal de NaCl em solução aquosa</p> <p>O NaCl (sal de cozinha) é o sal utilizado para salgar alimentos. Está também presente em alimentos naturais, como frutas, legumes e sementes.</p>	 <p>Cristais de bicarbonato de sódio</p> <p>O NaHCO₃ é um sal com características anfotéricas, ou seja, tanto pode ser utilizado na forma ácida para produção de dióxido de carbono (fermentos químicos e extintores de incêndio) como na forma alcalina (medicamentos antiácidos, sabões e detergentes).</p>	 <p>Cristais de nitrato de cálcio</p>  <p>Fertilizante composto por nitrato de cálcio</p> <p>O nitrato de cálcio é usado como fertilizante, fornecendo, além do cálcio, nitrogénio solúvel, de rápida absorção pelas plantas.</p>

Quadro 7 Exemplos de cristais iónicos e algumas das suas principais aplicações.

Exercícios resolvidos

- 4 Duas das quatro estruturas formadas pelo carbono são o diamante e o grafite. Apresenta uma explicação para o facto de, contrariamente ao diamante, o grafite ser um bom condutor de corrente elétrica e não ser duro.



Resolução:

4. A grafite conduz a corrente elétrica por possuir uma estrutura cristalina menos compacta do que o diamante, apresentando ligações em planos diferentes, que são mais fracas, sendo por isso um sólido mole, possibilitando a movimentação de eletrões entre planos e permitindo a condução de corrente elétrica. Por outro lado, no caso do diamante, cada átomo de carbono está ligado a quatro outros átomos desse elemento, não contidos no mesmo plano. Assim, o diamante possui uma estrutura muito densa, mais compacta do que a da grafite, o que justifica a sua elevada dureza, e, ao não permitir a movimentação de eletrões de forma linear, torna-se mau condutor de eletricidade.
- 5 Estabelece as corretas associações entre as propriedades e o tipo de sólido a partir das correspondências entre as informações das duas colunas.

Coluna I	Coluna II
(I) São geralmente duros.	(a) Sólidos metálicos
(II) Apresentam, geralmente, ligações mais fracas.	(b) Sólidos moleculares
(III) Apresentam, geralmente, baixos valores de energia de coesão.	(c) Sólidos covalentes
(IV) São bons condutores de eletricidade.	(d) Sólidos iónicos

Resolução:

5. I – a, c e d; II – b; III – b; IV – a.
- 6 Considera as seguintes substâncias sólidas à temperatura ambiente:



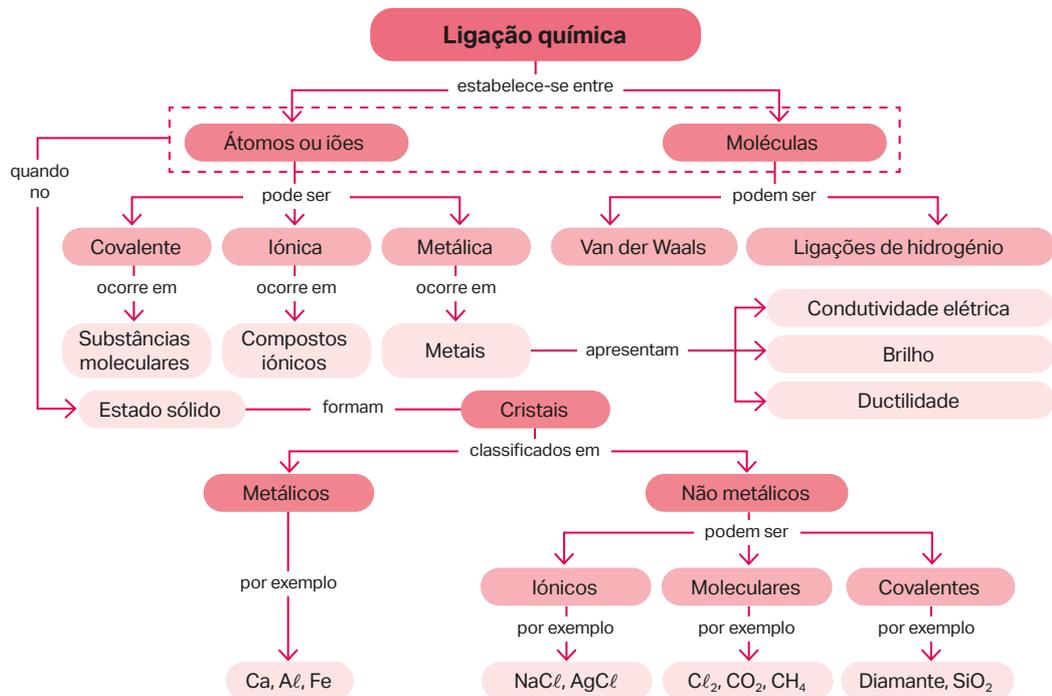
Seleciona aquele(s) que é(são) considerado(s) cristal(is):

(I) metálico(s); (II) iónico(s); (III) molecular(es); (IV) covalente(s).

Resolução:

6. I – Al; II – AgCl e NaCl; III – I₂; IV – SiO₂ e grafite.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- Os **sólidos metálicos** distinguem-se dos não metálicos por serem **dúcteis** e **maleáveis** e **bons condutores de eletricidade**. Os sólidos metálicos distinguem-se ainda dos iónicos e covalentes por apresentarem, genericamente, ligações mais fracas.
- Um cristal é um material no qual as unidades estruturais se encontram organizadas de uma forma repetida e regular no espaço tridimensional.
- Os metais são substâncias que apresentam estruturas gigantes cujas unidades estruturais são átomos. A ligação metálica ocorre entre os átomos de elementos metálicos e caracteriza-se pela partilha de eletrões deslocalizados por todos os átomos do metal, cuja estabilidade da ligação está relacionada com as interações entre esses eletrões e os cerne dos átomos do metal. Os metais têm elevados pontos de fusão e ebulição, densidade e dureza e são bons condutores de eletricidade; quando polidos, apresentam-se brilhantes; são maleáveis e dúcteis.
- Os **cristais covalentes** são constituídos por átomos unidos por ligações covalentes, formando estruturas gigantes.
- Os **cristais moleculares** são substâncias sólidas constituídas por moléculas organizadas de maneira regular que se mantêm unidas por ligações intermoleculares.
- Os **cristais iónicos** são compostos cujas unidades estruturais são iões (catiões e aniões) que se mantêm unidos por forças eletrostáticas.
- A maioria dos sólidos moleculares e dos sólidos iónicos dissolve-se em água, sendo que esta propriedade depende da polaridade das moléculas (no caso dos sólidos moleculares) e da diferença de tamanho e carga entre os iões que formam o composto (caso dos sólidos iónicos).

Exercícios de aplicação

1 Completa corretamente as frases seguintes:

- (A) Os sólidos (1) distinguem-se dos (2) por serem dúcteis e maleáveis, bons condutores de calor e de eletricidade e por apresentarem, genericamente, ligações mais (3)
- (B) Os sólidos metálicos, (4) e (5) são geralmente duros, apresentam p.f. elevados, enquanto que sólidos (6) têm propriedades são mais moderadas.
- (C) A maioria dos sólidos (7) e dos sólidos (8) dissolvem-se em água.
- (D) Os sólidos covalentes são constituídos por átomos unidos por ligações (9)
- (E) Os sólidos iónicos são compostos cujas unidades estruturais são (10) que se mantêm unidos por (11) Os sólidos moleculares são substâncias constituídas por (12) que se ligam entre si por (13)

2 Estabelece a correta correspondência entre os elementos das três colunas.

I Tipos de sólidos	II Interações entre partículas	III Propriedades
(I) Metálicos	(a) Atrações eletrostáticas	(i) Apresentam p.f. e p.e. relativamente baixos, podendo as unidades estruturais existir livres no estado gasoso.
(II) Covalentes	(b) Forças de van der Waals e/ou ligações de hidrogénio	(ii) No estado sólido e na sua forma líquida não conduzem a corrente elétrica. São insolúveis em água. São duros e fundem a temperaturas elevadas.
(III) Iónicos	(c) Ligações covalentes	(iii) São duros e não conduzem a corrente elétrica. Em solução, conduzem a corrente elétrica.
(IV) Molecular	(d) Ligações metálicas	(iv) Apresentam geralmente p.f. elevado. Conduzem a corrente elétrica e são maleáveis.

3 Os cristais moleculares são substâncias sólidas constituídas por moléculas organizadas de maneira regular que se mantêm unidas por ligações intermoleculares. A que se deve o facto de os cristais moleculares se desagregarem mais facilmente do que os cristais iónicos e covalentes?

Estrutura e propriedades dos líquidos

Já estudámos anteriormente que:

- as forças ou ligações intermoleculares são responsáveis pelo estado físico, pela grandeza dos pontos de fusão e de ebulição, pela densidade e pela solubilidade das substâncias;
- de acordo com a teoria cinético-corpúscular da matéria, as partículas no estado líquido têm mais liberdade de movimento e têm mais espaços vazios entre elas do que nos sólidos porque as forças intermoleculares que prevalecem são mais fracas;
- as partículas no estado líquido podem mudar de posição relativa, embora não se afastando umas das outras, o que justifica que a forma dos líquidos seja variável mas o volume se mantém inalterável, visto que são incompressíveis;
- os sólidos são mais densos do que os líquidos, os quais são mais densos do que os gases, com a exceção da água.

Viscosidade e tensão superficial

Vamos perceber agora que, em geral, quanto mais intensas forem as forças intermoleculares, mais marcadas serão outras propriedades dos fluidos (líquidos ou gases): a **viscosidade** e a **tensão superficial**.

• Viscosidade

A viscosidade é a medida da resistência de um fluido ao fluxo. Quanto maior for a viscosidade de um fluido (líquido ou gás), mais lentamente atravessará uma superfície.

Por exemplo, o mel, fluido muito viscoso, é derramado muito mais lentamente para dentro de um copo, do que o leite, pois a viscosidade do leite é muito menor. Isto ocorre porque a atração entre as moléculas de um fluido viscoso é muito maior do que a de um fluido menos viscoso.

A **viscosidade** dos líquidos (e dos gases) relaciona-se com o grau de liberdade das partículas constituintes: quanto maior for o grau de movimento das partículas, menos viscoso será o líquido.



Fig. 15 O mel é um fluido muito viscoso.

• Tensão superficial

As moléculas situadas no interior de um líquido são atraídas por forças intermoleculares em todas as direções pelas moléculas vizinhas e, por isso, a resultante das forças que atuam sobre cada molécula é praticamente nula. As moléculas da superfície do líquido, entretanto, sofrem apenas atração lateral e inferior. Esta força para o lado e para baixo cria a tensão na superfície, que faz a mesma comportar-se como uma película elástica.

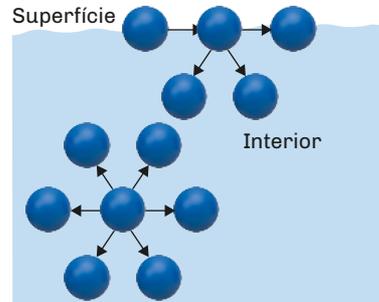


Fig. 16 Esquema das forças de atração entre as moléculas de um líquido.

A **tensão superficial** é uma propriedade dos líquidos e ocorre devido às forças de atração que as moléculas internas do líquido exercem junto às da superfície.

Entre os líquidos comuns, a **água apresenta uma tensão superficial claramente elevada** devido às fortes ligações de hidrogénio entre as suas moléculas. Como resultado desta elevada tensão superficial, a superfície da água apresenta uma "pele relativamente dura" que pode suportar uma força considerável sem "partir".

Alguns insetos, mesmo que sejam mais densos do que a água, movem-se à sua superfície porque são suportados pela tensão superficial. Esta característica da água é determinante para a sobrevivência de muitos organismos permitindo o suporte e proteção de bactérias, protozoários, algas e até insetos.



Fig. 17 Inseto a caminhar na superfície da água.

Quanto mais intensas forem as forças intermoleculares, maior será a tensão superficial e a viscosidade dos líquidos.

Uma forma de reduzir a tensão superficial que há na água e noutros líquidos é a adição de **agentes surfatantes** que são substâncias que, quando dissolvidas em água ou noutro solvente, reduzem a sua tensão superficial, aumentando a sua capacidade de molhar ou espalhar-se sobre superfícies e de solubilizar materiais insolúveis. Essa propriedade é fundamental em diversos processos de limpeza, pois permite que o líquido penetre mais facilmente em fissuras e poros, removendo resíduos com maior eficácia.



Fig. 18 Os aditivos surfatantes são usados na produção de detergentes.

Exercícios resolvidos

A tabela seguinte compara algumas grandezas físicas, incluindo a tensão superficial e a viscosidade de três substâncias líquidas a 15 °C e 1000 kPa.

Substâncias	Fórmula química	p.e. /°C	Densidade /g cm ⁻³	Tensão superficial /mN m ⁻¹	Viscosidade /mPa s
Etanol	C ₂ H ₆ O	78	0,79	22	1,2
Água	H ₂ O	100	1,00	72	1,0
Glicerina	C ₃ H ₈ O ₃	181	1,26	59	1500,0

- 7 Partindo da identificação do tipo de forças intermoleculares que prevalecem entre as moléculas de **(a)** etanol, **(b)** água e **(c)** glicerina, justifica as diferenças entre os p.e. e as densidades das três substâncias.

Resolução:

7. **(a)** A molécula de etanol é polar e é constituída numa das suas extremidades por 1 átomo de hidrogénio ligado a 1 de oxigénio, que é muito eletronegativo. Por esta razão, as ligações intermoleculares que prevalecem são as ligações de hidrogénio. **(b)** A água é uma molécula polar constituída por 2 átomos de hidrogénio ligados a 1 átomo de oxigénio, prevalecendo, assim, as ligações de hidrogénio entre as moléculas de água. A água, como tem 2 átomos de hidrogénio ligados ao oxigénio, pode formar duas ligações de hidrogénio, ao invés da única ligação idêntica no caso do etanol. Por esta razão, as forças intermoleculares são mais intensas na água do que no etanol. **(c)** A estrutura da molécula de glicerina é polar, apresentando 3 grupos (OH), com possibilidades de ligações de hidrogénio tornando as forças intermoleculares muito intensas. Por esta razão as forças intermoleculares são mais intensas na glicerina do que na água. Dado que quanto maior for a intensidade das forças intermoleculares, maior será o p.e. e a densidade, comprova-se assim a diferença de valores registados na tabela.

- 8 Vimos que, em geral, quanto mais intensas forem as forças intermoleculares maiores serão a viscosidade e a tensão superficial dos líquidos. Justifica o facto de a água ser uma exceção a esta generalidade, apresentando menor viscosidade do que o etanol e maior tensão superficial do que a glicerina.

Resolução:

8. Devido ao pequeno tamanho da molécula de água, quando comparada com a de etanol, as suas ligações de hidrogénio fortes permitem um fácil deslizamento entre as moléculas, resultando numa menor viscosidade. A tensão superficial da água é superior à da glicerina, porque as pequenas moléculas de água formam ligações de hidrogénio mais fortes à superfície, criando uma "pele" mais resistente na superfície, elevando a sua tensão superficial, quando comparada com a glicerina que, devido à estrutura mais complexa da molécula, não permite a mesma densidade dessas interações na superfície, o que reduz a sua tensão superficial.

Propriedades da água

Por possuir um conjunto de propriedades físicas e químicas únicas, a água é essencial à vida na Terra, sendo fundamental em muitos processos biológicos, químicos e ambientais. Resumindo as **características da água** já estudadas, podemos concluir que:

- é polar, o que lhe permite ser um excelente solvente para compostos iônicos e polares, tornando-a fundamental em processos biológicos e químicos, na dissolução de nutrientes, gases e outras moléculas polares.
- as forças intermoleculares que prevalecem entre as suas moléculas são as ligações de hidrogênio, responsáveis pela sua elevada tensão superficial, o que permite que pequenos seres vivos, como insetos, “caminhem” na água sem afundar, e pelo elevado ponto de ebulição, que lhe permite estar no estado líquido a temperaturas moderadas;
- apresenta baixa viscosidade, o que facilita o seu movimento, por exemplo, através de tubos e poros, como vasos sanguíneos nos animais e canais nas plantas.

Essas e outras propriedades (pH neutro, transparência, elevada condutividade térmica e capacidade térmica mássica) fazem da água uma substância extremamente versátil e essencial, influenciando os processos biológicos e ecológicos. Destaca-se a sua **decisiva importância**:

- no **transporte eficiente de substâncias**, sobretudo das formas solúveis, em sistemas vivos e na reciclagem de nutrientes e compostos químicos nos ecossistemas, garantindo a preservação do meio ambiente;
- na **regulação do clima**, devido à interferência nas trocas de calor entre a superfície da Terra e a atmosfera, desempenhando papéis fundamentais no transporte de calor, na formação de nuvens e na moderação das temperaturas, o que permite manter o equilíbrio térmico do planeta, criando condições favoráveis à vida;
- no **desenvolvimento global da biosfera**, sendo, além dos exemplos referidos, um *habitat* para a vida aquática e um suporte à agricultura e à produção de alimentos.



Fig. 19 Importância da água na obtenção e produção de alimentos.

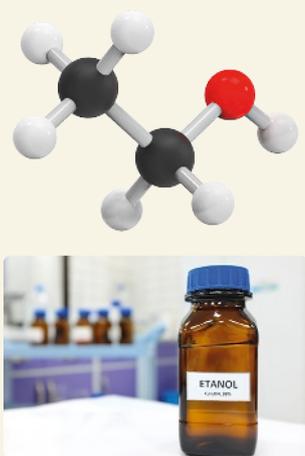
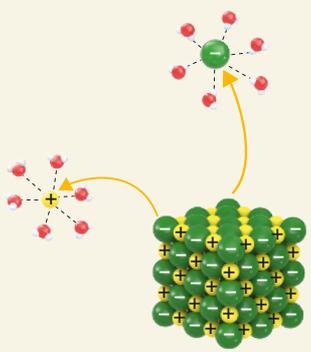
e Manual Digital

Vídeo
Comportamento excepcional da água



Soluções e dispersões

Além de alguns líquidos puros como a água, as **soluções** e **dispersões** também possuem um papel importante em vários processos biológicos e industriais. A importância das soluções destaca-se, por exemplo, na preparação de medicamentos e na distribuição de nutrientes em organismos vivos. As dispersões têm aplicações importantes em diferentes áreas, dos alimentos, aos produtos de cuidados pessoais e à indústria de tintas. Cada tipo de material possui características distintas baseadas nas interações entre as suas partículas constituintes, o que influencia as suas propriedades e comportamentos.

Líquido puro	Solução	Dispersão
<ul style="list-style-type: none"> – Líquido constituído por uma única substância química (não contém soluto ou partículas dispersas). – Exemplo: etanol (C_2H_5OH). – As partículas entre si estão sujeitas a ligações intermoleculares de hidrogénio e/ou de van der Waals (dipolo-dipolo ou dipolo instantâneo-dipolo induzido). 	<ul style="list-style-type: none"> – Mistura homogénea de duas ou mais substâncias, em que uma ou mais substâncias (soluto) são dissolvidas noutra (solvente), formando uma única fase. – As partículas entre si estão sujeitas a forças intermoleculares (podendo incluir interações ião-dipolo) entre o soluto e o solvente (no caso de o soluto ser um sal, interações ião-ião) que levam à desintegração e à dissolução. – Exemplo: NaCl dissolvido em água. 	<ul style="list-style-type: none"> – Mistura em que as partículas de uma substância (fase dispersa) são distribuídas dentro de outra substância (meio dispersante). São heterogéneas (suspensão) ou aparentemente homogéneas a olho nu, mas heterogéneas quando observadas ao microscópio (coloide). As partículas da fase dispersa no coloide têm dimensão superior ao da solução e inferior ao da suspensão. – Exemplos: argila em água (suspensão) e leite (coloide).  <ul style="list-style-type: none"> – As partículas da fase dispersa e o meio dispersante estabelecem entre si ligações intermoleculares que podem levar à sedimentação (em suspensões) ou à estabilização (em coloides). Por exemplo, na suspensão de argila em água existem interações eletrostáticas, nas quais as partículas de argila têm cargas superficiais que se repelem.

Quadro 8 Distinção entre líquidos puros, soluções e dispersões.

Estrutura e propriedades dos gases

Resumindo o que já estudámos em secções anteriores:

- de acordo com a teoria cinético-corpúscular da matéria, as partículas no estado gasoso têm mais liberdade de movimento e têm mais espaços vazios entre elas do que nos restantes estados físicos, porque as forças intermoleculares que prevalecem são mais fracas;
- a movimentação das partículas de um gás está relacionada com a sua energia cinética – quanto maior for a temperatura, maior será a energia cinética das partículas;
- as moléculas de gases estão muito distantes umas das outras, movendo-se de forma desorganizada e aleatória. Dado existir muito espaço vazio, os gases são pouco densos e facilmente compressíveis (capacidade de se expandirem ou se comprimirem). A ausência de forças fortes entre as moléculas permite que o gás se expanda de modo a ocupar todo o volume do recipiente onde está contido, o que justifica que a forma e o volume dos gases não sejam constantes.

Propriedades dos gases

Os gases apresentam ainda outras propriedades além das já estudadas.

Difusão e miscibilidade

A **difusão** é a capacidade que as moléculas dos gases (ou átomos, no caso dos gases nobres) têm de se movimentarem espontaneamente através de outro gás.

Pelo facto de existirem muitos espaços vazios entre as partículas no estado gasoso e do seu movimento ser constante e desordenado, as moléculas (ou átomos) de gases são facilmente misturados noutros gases, formam misturas homogéneas com outros gases (sendo, por isso, totalmente **miscíveis** em qualquer proporção), possuindo grande capacidade de **difusão**. Uma evidência desta propriedade é sentir-se rapidamente o cheiro de uma pessoa perfumada a entrar numa sala.

Dado que, como já estudaste, quanto maior for a temperatura, maior será a energia cinética das partículas do gás, podemos concluir que, **quanto maior for a temperatura, maior será a velocidade de difusão e a tendência de expansão do gás.**

O ar atmosférico

A atmosfera terrestre é uma mistura de gases na qual também se encontram partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar. A troposfera é a camada da atmosfera mais perto da superfície terrestre e estende-se, em zonas de latitudes médias, até cerca de 12 km de altura.



Fig. 20 O cheiro do perfume rapidamente é sentido a grande distância.

Composição e propriedades da troposfera terrestre

O ar seco da troposfera é maioritariamente constituído por dinitrogénio, N_2 (78% em volume), e dióxigénio, O_2 (21% em volume). Estes valores significam que, em cada 100 dm^3 de ar, 78 dm^3 são de N_2 e 21 dm^3 são de O_2 .

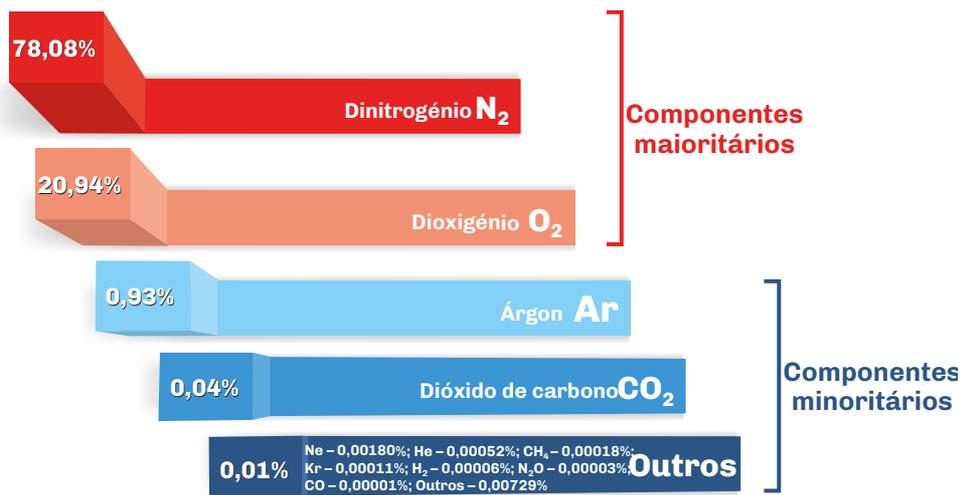


Fig. 21 Composição do ar seco e não poluído da troposfera, em percentagem de volume.

Em certas zonas, a troposfera terrestre é ainda constituída por gases poluentes emitidos por fontes naturais e antropogénicas, provocando a poluição atmosférica.

Os principais gases **poluentes atmosféricos** são, por ordem decrescente de abundância, os óxidos de carbono (CO e excesso de CO_2), os óxidos de nitrogénio (NO e NO_2), os óxidos de enxofre (SO_2 e SO_3), os compostos orgânicos voláteis (CH_4 e CFC), o ozono troposférico (O_3), e o óxido nítrico (N_2O).

Atividade Investigativa 4

Objetivo: Investigar os riscos associados à manipulação de gases com propriedades perigosas para o ambiente.

Temas a explorar:

- 1 Riscos associados aos poluentes do ar (ex.: monóxido de carbono).
- 2 Riscos associados aos combustíveis (ex.: gás da cozinha).

Etapas do desenvolvimento da atividade:

- 1 Cada grupo de trabalho, previamente formado, escolhe um dos temas propostos.
- 2 Elaborar um texto que aprofunde e explicita, para cada um dos temas, as informações apresentadas no contexto teórico.
- 3 Organizar um momento para a apresentação dos trabalhos e debate.



Efeito de estufa

O efeito de estufa, que consiste na absorção, por certos gases presentes na atmosfera, da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre, é um processo natural que permite à Terra manter uma temperatura média que sustenta a vida. No entanto, o aumento da concentração de alguns gases poluentes devido à atividade humana intensifica esse processo, levando ao aquecimento global e a várias consequências ambientais e sociais.

As principais **consequências do efeito de estufa** são: o degelo dos glaciares, eventos climáticos extremos (ondas de calor, tempestades e furacões, secas e inundações), impactes na biodiversidade, impactes na agricultura e, na segurança alimentar (redução da produtividade agrícola, doenças e pragas) e impactes na saúde humana (provocadas pelo calor e pela poluição do ar).

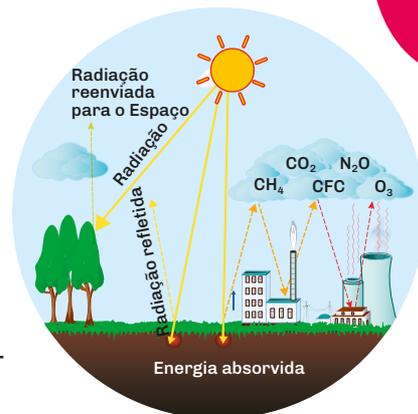


Fig. 22 Esquema do efeito estufa.

Ordem decrescente de impacto

Poluentes	Fontes poluidoras
Exceso de CO ₂	Fogos, transportes, eletricidade e indústria.
CH ₄ e CFC	Decomposição de matéria orgânica, aterros sanitários, agropecuária e indústria.
O ₃ troposférico	Relâmpagos e reações químicas que ocorrem entre outros poluentes.
N ₂ O	Ação bacteriana nos solos e agropecuária.



Exercícios resolvidos

Cabo Verde tem uma das mais baixas emissões *per capita* de gases com efeito de estufa, 90% das quais são provenientes da produção de energia, no entanto, está entre os países mais vulneráveis às alterações climáticas, apresentando diversos riscos: atividades vulcânicas, secas, chuvas torrenciais e inundações, levando a deslizamentos e alagamentos. Os impactes do aumento do nível do mar também serão significativos na infraestrutura costeira, povoaamentos e ecossistemas naturais.

- 9 Identifica os gases com efeito de estufa associados à produção de energia e indica possíveis medidas a implementar em Cabo Verde para a mitigação desse efeito.

Resolução:

9. CO₂ e CFC. Para mitigar o impacto destes gases poluentes, devemos investir na eficiência energética, nas energias renováveis e nos transportes com baixa emissão de carbono.
- 10 Indica contribuições para a adaptação das populações às alterações climáticas.

Resolução:

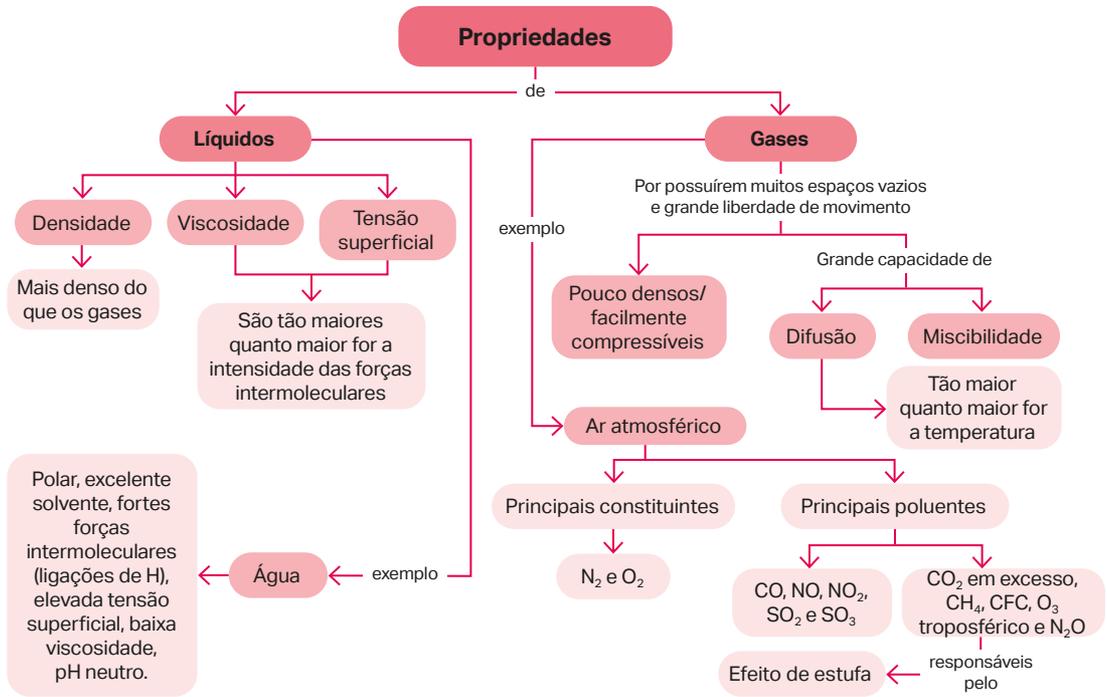
10. Melhorias ao nível da gestão eficiente da água, maiores cuidados e atenção ao nível da segurança alimentar, e aposta na redução do risco de desastres através de uma eficaz gestão costeira e melhores opções ao nível do ordenamento do território.

e Manual Digital

Vídeo
Gases e dispersões



Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **viscosidade** dos fluidos relaciona-se com o grau de liberdade das partículas constituintes: quanto maior for o grau de movimento das partículas, menos viscoso será o líquido. A **tensão superficial** é uma propriedade dos líquidos e ocorre devido às forças de atração que as moléculas internas do líquido exercem junto às da superfície.
- Quanto mais intensas forem as forças intermoleculares, maiores serão a tensão superficial e a viscosidade dos líquidos.
- A água é polar; possui forças intermoleculares fortes (ligações de hidrogénio); apresenta baixa viscosidade e pH neutro; é transparente e boa condutora térmica.
- Além de líquidos puros, existem soluções e dispersões, que são misturas heterogêneas de duas, ou mais, substâncias.
- A **difusão** é a capacidade que as moléculas (ou átomos) dos gases têm de se movimentarem espontaneamente através de outro gás.
- A troposfera terrestre é constituída maioritariamente por N_2 , O_2 e, em muito menor quantidade, por Ar, CO_2 e outros gases em quantidades vestigiais.
- Os **poluentes antropogénicos** que contribuem para o aumento do **efeito de estufa** são: CO_2 em excesso, CH_4 , CFC, O_3 troposférico e N_2O .
- A diminuição da produção de gases poluentes pode ser conseguida através da redução de lixo, da reutilização e reciclagem, maior aposta em energias renováveis e transportes sustentáveis, redução de fogos florestais, de incinerações de lixo, de produção de carne bovina e do uso de fertilizantes nitrogenados na produção agrícola.

Exercícios de aplicação

1 Classifica em verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das afirmações seguintes:

- (A) Quanto maior for o grau de movimento das partículas, mais viscoso será o líquido.
- (B) A tensão superficial é uma propriedade dos líquidos e ocorre devido às forças de atração que as moléculas internas do líquido exercem junto à superfície.
- (C) Quanto mais intensas forem as forças intermoleculares, menor será a tensão superficial e a viscosidade dos líquidos.
- (D) A água apresenta uma elevada tensão superficial e uma baixa viscosidade.
- (E) Dado existir muito espaço vazio entre as suas unidades estruturais, os gases são muito densos e facilmente compressíveis.
- (F) Com a exceção da água, os sólidos são mais densos do que os líquidos, os quais são mais densos do que os gases.

2 A distinção entre as soluções e os dois tipos de dispersões (coloide ou suspensão) pode ser feita com base no tamanho das partículas dispersas no meio dispersante. Faz corresponder os termos da coluna I aos termos da coluna II ($1 \mu\text{m} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$; $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$).

I. Tipo de mistura	II. Dimensão das partículas da fase dispersa
1. Coloide	A. entre $1 \mu\text{m}$ e 1 nm
2. Suspensão	B. inferiores a 1 nm
3. Solução	C. superior a $1 \mu\text{m}$

3 A atmosfera é uma mistura de muitos componentes gasosos. Identifica:

- 3.1. os componentes maioritários do ar troposférico;
- 3.2. um componente vestigial do ar que não seja considerado um poluente atmosférico;
- 3.3. os principais gases responsáveis pelo efeito de estufa;
- 3.4. as principais fontes poluidoras responsáveis pela emissão de gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa;
- 3.5. três comportamentos a adotar para diminuir a emissão dos gases com efeito de estufa para a atmosfera.



4

Subtema 4.1. Aspetos cinéticos e energéticos

- Reconhecer que as reações químicas podem ocorrer com velocidades muito diferentes, em função da composição do sistema reacional (destacando-se a natureza das substâncias em presença) e das condições em que o mesmo se encontra.
- Identificar os fatores determinantes que podem alterar a velocidade das reações químicas.
- Explicar o efeito de fatores tais como a temperatura, a concentração, a superfície de contacto e os catalisadores sobre a velocidade das reações químicas.
- Reconhecer que as fontes de energia tais como a luz, a eletricidade e a fricção podem influenciar a velocidade de certas reações químicas.
- Reconhecer a importância biológica das enzimas enquanto fatores determinantes para reações químicas específicas que ocorrem a nível das células.
- Reconhecer os efeitos da pressão nas reações em fase gasosa.
- Classificar as reações químicas em exotérmicas ou endotérmicas como aquelas que, num sistema isolado, ocorrem, respetivamente, com aumento ou diminuição de temperatura.
- Interpretar a energia da reação como o balanço energético entre a energia envolvida na rutura e na formação de ligações químicas (ΔH).
- Interpretar representações da energia envolvida numa reação química relacionando a energia dos reagentes e dos produtos e a variação de entalpia.
- Determinar a variação de entalpia de uma reação química.
- Referir a constituição dos combustíveis fósseis e os principais responsáveis pelo aquecimento global e chuvas ácidas.

Reações químicas

4.1. Aspectos cinéticos e energéticos

4.2. Reações químicas no meio ambiente

Subtema 4.2. Reações químicas no meio ambiente

- Reconhecer a biosfera como fator importante da dinâmica química do planeta Terra, considerando as inter-relações com os outros domínios do ambiente.
- Reconhecer a fotossíntese e a respiração como suportes para a vida no planeta.
- Reconhecer que a fotossíntese é responsável pela obtenção de energia na biosfera e converte a energia solar em energia química.
- Perceber que a vida no planeta depende da existência de condições químicas e físicas favoráveis para a sua sobrevivência.
- Reconhecer a importância da biosfera para o equilíbrio dos ecossistemas e a necessidade de medidas visando a proteção da biodiversidade.
- Compreender o conceito e a importância da combustão dos alimentos enquanto reação química através da qual as células produzem energia que é consumida pelos seres vivos nas suas atividades.
- Referir as propriedades do solo que envolvem o pH.
- Identificar as principais causas da acidez do solo.
- Identificar os componentes essenciais do solo nas três fases.
- Referir que o processo da mineralização consiste na conversão de formas orgânicas de N e S em formas inorgânicas, amónio e sulfato, respetivamente.
- Conhecer os principais poluentes químicos do solo.
- Distinguir água pura das águas naturais, tendo em conta a composição e as propriedades físico-químicas.
- Identificar os diferentes tipos de reação química que podem ocorrer em meio aquático, considerando o ambiente físico.
- Compreender o conceito de poluição ambiental, estabelecendo ligação entre o carácter poluente das substâncias e os seus efeitos adversos nos ecossistemas.
- Compreender a composição química da atmosfera, considerando a constituição molecular dos gases maioritários.
- Identificar a luz solar como fonte de energia das reações fotoquímicas.
- Relacionar a elevada reatividade dos radicais livres com a particularidade de serem espécies que possuem eletrões desemparelhados e explicitar alguns dos seus efeitos na atmosfera e sobre os seres vivos, por exemplo, o envelhecimento.
- Identificar os principais poluentes do ar bem como as suas respetivas fontes.

4

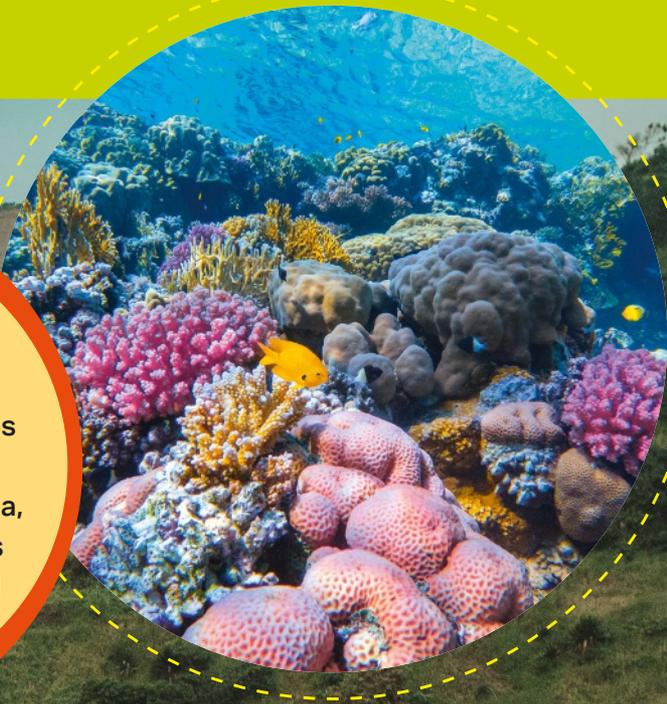
Reações químicas

Ponto de partida

- Neste tema são introduzidos os conceitos-chave inerentes ao estudo dos aspetos cinéticos e energéticos das reações químicas e às reações químicas no meio ambiente.
- Nesta página vais perceber a importância...

... da química na biosfera, dedicada aos seres vivos e aos ciclos naturais que sustentam a vida na Terra, permitindo o desenvolvimento de soluções sustentáveis para enfrentar desafios ambientais, garantindo a sobrevivência e o bem-estar dos ecossistemas.

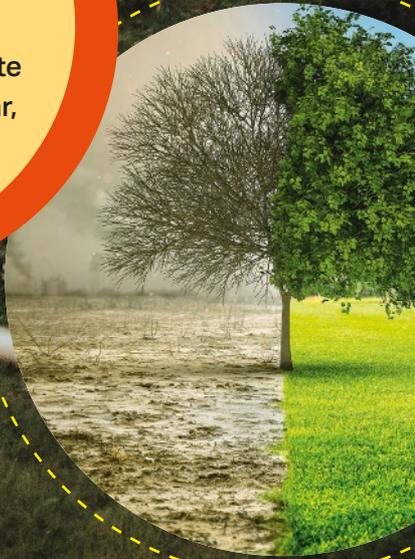
... da velocidade das reações químicas, essencial para otimizar processos industriais, desenvolver medicamentos mais eficazes, conservar alimentos e promover a sustentabilidade ambiental.



... das reações em meio aquático, essencial para a compreensão de processos biológicos, industriais e ambientais, dado que a água, pelas suas características singulares, é fundamental nesses processos.



... das reações na atmosfera, fundamental para entender como os gases e partículas interagem, influenciando diretamente o clima, a qualidade do ar, o equilíbrio ecológico e a saúde pública.



... da energia das reações químicas, fundamental para compreender e melhorar a eficiência dos processos, em áreas que vão desde a produção energética ao desenvolvimento de novos materiais e tecnologias, cruciais na resposta aos desafios mais emergentes da atualidade.

Vamos começar o estudo?



Vídeo
Fatores que influenciam a velocidade das reações químicas: concentração dos reagentes



4.1. Aspectos cinéticos e energéticos

Velocidade das reações químicas

As reações químicas podem ocorrer com **velocidades muito diferentes**, em função da composição do sistema reacional e das condições em que o mesmo se encontra.

Natureza dos reagentes e estados físicos

É importante lembrar que, para acontecer uma determinada reação química é necessário ocorrer a quebra de ligações nos reagentes e formação de novas ligações nos produtos: quanto maior for a força de ligação entre as partículas dos reagentes, mais lenta será a reação. A **natureza química dos reagentes**, como a sua estrutura molecular e os tipos de ligações químicas, **influencia**, assim, **a velocidade da reação**, dado que determina a energia de ligação entre as partículas dos reagentes. As reações químicas que envolvem compostos iônicos, por exemplo, são geralmente mais rápidas do que aquelas que envolvem moléculas complexas, dada a maior facilidade dos iões em se moverem no respetivo meio. Por outro lado, quantos mais átomos, unidos por ligações covalentes, forem necessários separar, menor será a velocidade da reação.

Geralmente, **as reações entre partículas reagentes nos estados gasoso e líquido tendem a ocorrer mais rapidamente do que entre sólidos**, pois as moléculas no estado gasoso ou líquido, por terem maior liberdade de movimento (forças intermoleculares mais fracas), colidem com maior frequência, resultando, assim, na mais rápida quebra de ligações entre reagentes e formação de produtos.

Concentração dos reagentes

Uma reação química resulta das colisões eficazes entre os corpúsculos dos reagentes (capazes de romper ligações intermoleculares) para se formarem os produtos da reação. Ao aumentar a concentração, aumenta-se o número de corpúsculos e, conseqüentemente, a probabilidade dos choques eficazes e, assim, a velocidade da reação.

Quanto maior for a **concentração dos reagentes**, maior será a frequência de colisões entre os corpúsculos destes, aumentando, assim, a velocidade da reação.

A partir da relação entre a concentração de um reagente consumido ou de um produto formado (Δc) e o intervalo de tempo (Δt) em que a reação ocorre, podemos calcular a velocidade média da reação (v_m) de acordo com a expressão:

$$v_m = \frac{|\Delta c|}{\Delta t} = \frac{|c_f - c_i|}{t_f - t_i}$$

Os dados da tabela seguinte mostram a variação das concentrações de pentóxido de dinitrogénio (N_2O_5), dióxido de nitrogénio (NO_2) e dioxigénio (O_2), durante a decomposição do pentóxido de dinitrogénio, de acordo com a reação química:



Tempo/s	Concentração/mol dm ⁻³		
	N ₂ O ₅	NO ₂	O ₂
0	0,0200	0	0
100	0,0169	0,0063	0,0016
200	0,0142	0,0115	0,0029
300	0,0120	0,0160	0,0040
400	0,0101	0,0197	0,0049

Tabela 1 Concentração em função do tempo, a 55 °C, da reação de decomposição do N₂O₅.

A partir dos dados da tabela, podemos calcular a v_m de decomposição do N₂O₅ e as v_m de formação do NO₂ e do O₂, por exemplo, nos primeiros 200 segundos.

$v_m(N_2O_5)$	$v_m(NO_2)$	$v_m(O_2)$
$v_m(N_2O_5) = \frac{ 0,0142 - 0,0200 }{200 - 0} = 2,9 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$	$v_m(NO_2) = \frac{ 0,0115 - 0 }{200 - 0} = 5,8 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$	$v_m(O_2) = \frac{ 0,029 - 0 }{200 - 0} = 1,4 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$

Analisando os cálculos, percebe-se que:

- a v_m varia em função da substância participante da reação considerada;
- a v_m de produção do NO₂ é o dobro da velocidade de decomposição do N₂O₅. Isto é, as velocidades são proporcionais e a proporção entre elas é 2 : 1. Estes valores são iguais aos coeficientes estequiométricos da reação destacados a vermelho;
- a v_m de produção do O₂ é metade da velocidade de decomposição do N₂O₅ e um quarto da velocidade de formação de NO₂. Isto acontece porque o coeficiente estequiométrico do O₂ é igual a 1 e os coeficientes estequiométricos do N₂O₅ e NO₂ são, respetivamente, 2 e 4.

Assim, a velocidade média da reação de decomposição do N_2O_5 será:

$$v_m(\text{reação}) = \frac{v_m(\text{N}_2\text{O}_5)}{2} = \frac{v_m(\text{NO}_2)}{4} = \frac{v_m(\text{O}_2)}{1}$$

Substituindo os valores, vem:

$$v_m(\text{reação}) = \frac{2,9 \times 10^{-5}}{2} = \frac{5,8 \times 10^{-5}}{4} = \frac{1,4 \times 10^{-5}}{1} = 1,4 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$$

Temperatura

De acordo com o que já foi estudado, o aumento da temperatura de um sistema leva ao aumento da energia cinética média das partículas e, conseqüentemente, ao número de colisões efetivas entre elas.

Quanto maior for a **temperatura dos reagentes**, maior será o número de partículas com energia suficiente para promover colisões efetivas, aumentando, assim, a velocidade da reação.



O desenvolvimento da técnica de refrigeração, ao nível da conservação de alimentos a baixas temperaturas, permite aos produtores e comerciantes conservar por mais tempo os alimentos e distribuí-los a populações mais distantes.

Superfície de contacto

Nas reações em que os reagentes se encontram em fases distintas, por exemplo, reações entre um sólido e um gás, quanto maior for a área de superfície do sólido, mais rápida tende a ser a reação, pois maior é a possibilidade de essas partículas colidirem umas com as outras.

Quanto maior for a **superfície de contacto dos reagentes**, maior será a frequência de colisões entre eles, aumentando, assim, a velocidade da reação.

Para acender uma fogueira, usa-se palha ou lenha muito fina que arde rapidamente. Quando se coloca a lenha mais grossa, a velocidade da combustão diminui, mantendo por mais tempo a fogueira acesa.



Vídeos

Fatores que influenciam a velocidade das reações químicas: temperatura



Fatores que influenciam a velocidade das reações químicas: estado de divisão dos reagentes



Atividade Laboratorial 6

Estudo da velocidade das reações

Material:

2 comprimidos de antiácido efervescentes; água; 4 gobelés de vidro (ou copos transparentes) iguais.

Parte I – Influência do estado de divisão

Procedimento experimental:

- 1 Corta um comprimido de antiácido ao meio e tritura uma das metades.
- 2 Coloca volumes iguais de água, à mesma temperatura, em dois copos.
- 3 Num dos copos, coloca, ao mesmo tempo, a metade não triturada e, no outro, a metade triturada.

Observações e conclusões:

- 1 Observa atentamente o que acontece com a velocidade de libertação das bolhas de gás em cada um dos copos. O que podes concluir?

Parte II – Influência da temperatura

Procedimento experimental:

- 1 Corta o outro comprimido de antiácido ao meio.
- 2 Coloca volumes iguais de água em dois copos: um deles com água à temperatura ambiente, e, no outro, água aquecida quase no ponto de ebulição.
- 3 Coloca uma metade do comprimido em cada um dos copos, ao mesmo tempo.

Observações e conclusões:

- 1 Observa atentamente o que acontece com a velocidade de libertação das bolhas de gás em cada um dos copos. O que podes concluir?

Pressão

A pressão só influencia significativamente a velocidade de uma reação se pelo menos um dos reagentes se encontrar no estado gasoso. Nestas condições, um aumento de pressão do sistema reacional, ao concentrar as moléculas num menor volume, provoca um aumento da probabilidade de colisões eficazes entre elas e, assim, um aumento da velocidade da reação.

Quanto maior for a **pressão**, maior será a frequência de colisões entre as partículas no estado gasoso, aumentando, assim, a velocidade da reação.

Catalisadores e inibidores

Enquanto a concentração, a temperatura e a superfície de contacto são fatores que afetam a frequência de colisões entre os reagentes, o uso de catalisadores acelera a reação de forma diferente, dado que não participam na formação dos produtos, sendo completamente regenerados no final da reação.

Os **catalisadores** são substâncias que, quando adicionadas a um sistema reacional, têm a capacidade de acelerar uma reação química.

Os **catalisadores biológicos** são produtos orgânicos sintetizados pelas células que atuam nas reações metabólicas do corpo. As enzimas – proteínas com uma forma tridimensional complexa – são os principais catalisadores biológicos essenciais à vida.

Estas enzimas aumentam a velocidade das reações de 10^6 a 10^{18} vezes e têm a particularidade de serem muito específicas, atuando apenas sobre certas moléculas, deixando inalterado o restante sistema.



A digestão de alimentos é **catalisada** por **enzimas** (catalisadores biológicos), tais como a amilase, a lipase e a protease. A saliva, o suco gástrico e o sangue também têm enzimas igualmente importantes na sua composição.

São exemplos de inibidores os antioxidantes e os conservantes alimentares.

Os **inibidores** são substâncias que, quando adicionadas a um sistema reacional, têm a capacidade de retardar uma reação química.

Energia, na forma de radiação ou eletricidade

A luz aumenta a velocidade das reações fotoquímicas (reações que ocorrem por ação da luz). Um exemplo é a fotossíntese, que não ocorre sem as radiações luminosas captadas pela clorofila das plantas. A decomposição de alguns alimentos, medicamentos, detergentes e reagentes (como, por exemplo, a água oxigenada) ocorre com maior velocidade na presença de luz. É por isso que os frascos que contêm esses produtos são sempre escuros ou opacos.



Vídeos
Fatores que influenciam a velocidade das reações químicas: catalisadores



Fatores que influenciam a velocidade das reações químicas: luz



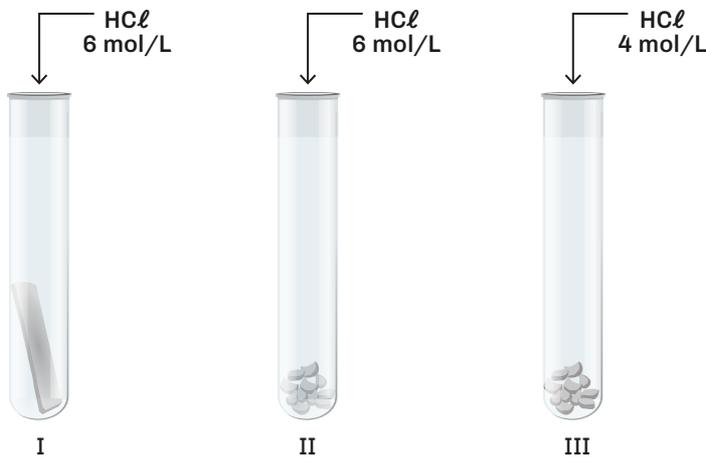


Em alguns casos, **faíscas elétricas energizam sistemas gasosos, gerando energia suficiente para iniciar e acelerar uma reação**. Um exemplo desse fenômeno são as faíscas que desencadeiam as reações que permitem que os *airbags* dos veículos sejam insuflados pela expansão do dinitrogênio libertado no processo reacional em apenas 0,04 s após a colisão do automóvel, protegendo, assim, o motorista e os passageiros de lesões mais graves.

Exercício resolvido

- 1 Foram realizados três ensaios para o estudo da reação entre o zinco metálico e o ácido clorídrico.

Em cada tubo de ensaio colocou-se 0,327 g de zinco e 4,0 mL de solução aquosa de ácido clorídrico, nas concentrações indicadas. Foi registado o tempo de reação até ao desaparecimento completo do metal.



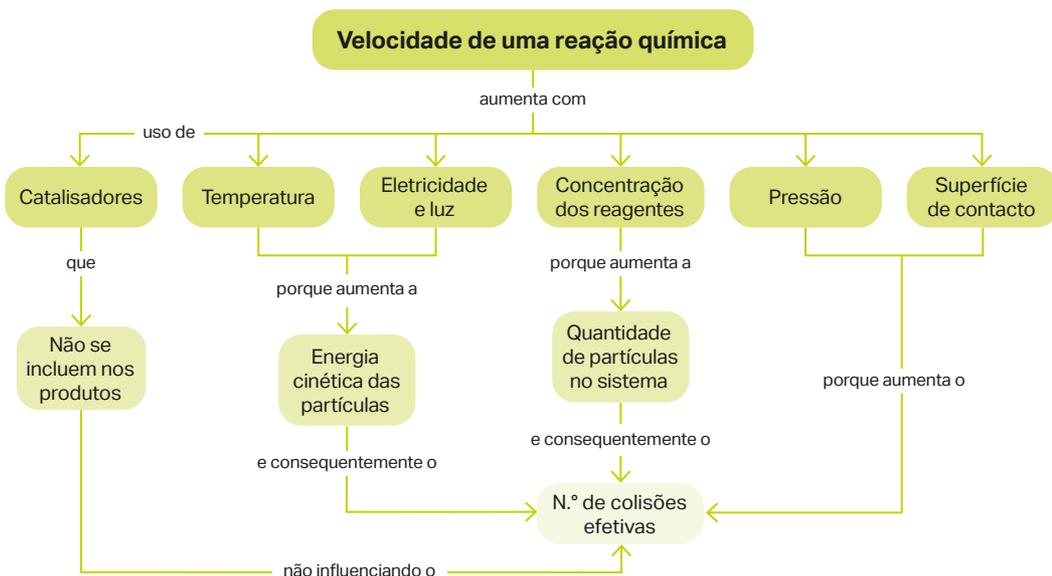
A figura esquematiza os ensaios antes da adição do ácido.

Em qual dos ensaios o tempo de reação terá sido menor? Justifica.

Resolução:

1. O ensaio realizado no tubo II terá ocorrido em menor tempo, dado que foi utilizada uma maior concentração de HCl (6 mol/L) e, de acordo com a ilustração, zinco metálico com maior superfície de contacto (desfeito em pedaços pequenos).

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- As reações químicas podem ocorrer com velocidades muito diferentes, em função da composição do sistema reacional e das condições em que o mesmo se encontra.
- Os fatores determinantes que podem alterar a velocidade das reações químicas são: a **natureza dos reagentes**, a **temperatura**, a **concentração dos reagentes**, a **superfície de contacto**, o **uso de catalisadores ou de inibidores** e a **pressão** nas reações envolvendo gases. Em reações específicas, a **luz** e a **eletricidade** também podem influenciar a velocidade das reações.
- Quanto maior for a **concentração dos reagentes**, maior será a frequência de colisões entre eles e maior será a velocidade da reação.
- Quanto maior for a **temperatura dos reagentes**, maior será o número de partículas com energia para promover colisões efetivas e maior será a velocidade da reação.
- Quanto maior for a **superfície de contacto dos reagentes**, maior será a frequência de colisões entre eles e maior será a velocidade da reação.
- Quando adicionados a um sistema reacional, os **catalisadores** têm a capacidade de acelerar uma reação química e os **inibidores**, de a retardar.
- A velocidade de uma reação fotoquímica é tanto maior quanto maior for a **intensidade luminosa**. Nas reações ativadas por **faíscas elétricas**, quanto maior for a energia fornecida, mais rápida será a reação.

Exercícios de aplicação

- 1** Classifica em verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das afirmações seguintes:
- (A) O aumento da temperatura diminui a velocidade das reações.
 (B) Quanto mais pulverizado for o reagente sólido, maior será a superfície de contacto e maior será a velocidade das reações.
 (C) Quanto maior for a concentração dos reagentes, maior será a velocidade da reação.
 (D) As enzimas (catalisadores biológicos) diminuem a velocidade das reações.
 (E) A luz e a eletricidade também podem aumentar a velocidade de uma reação.
- 2** Com o objetivo de estudar a velocidade de uma reação química, um aluno colocou em dois copos a mesma quantidade de água: um com água à temperatura ambiente e outro com água a 70 °C. De seguida adicionou um comprimido efervescente contendo 1 g de vitamina C em cada um dos copos e determinou o tempo que levou a dissolução completa do comprimido. Organizou os resultados obtidos na tabela seguinte.

	Copo 1	Copo 2
Temperatura da água (°C)	25	70
Massa de vitamina C (mg)	1000	1000
Tempo de dissolução completa do comprimido (s)	50	20

- 2.1.** Calcula a velocidade média da dissolução do comprimido, em mg/s, em cada copo.
- 2.2.** Justifica a diferença de valores encontrada.
- 3** Um aluno, no laboratório de Química, pretende dissolver 10 g de zinco numa solução de ácido clorídrico a 1 mol/L. Seleciona a opção de procedimento que permitirá obter uma reação mais rápida.
- (A) Triturar o zinco até ficar em pó. (B) Arrefecer a mistura.
 (C) Diluir a solução de HCl. (D) Aumentar a pressão.
- 4** A luz provoca a decomposição da substância peróxido de hidrogénio (água oxigenada), de acordo com a reação: $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{O}_2$. Para retardar a reação de decomposição da água oxigenada, devemos...
- (A) adicionar um catalisador. (B) deixar o frasco aberto.
 (C) deixar o frasco perto de uma janela, à luz do sol. (D) guardar o frasco no frigorífico.

Energia das reações químicas

A maioria das transformações físicas e químicas são acompanhadas por absorção ou liberação de energia.

Processos endo e exoenergéticos

As mudanças de estado físico são exemplos de transformações físicas que acontecem com absorção ou liberação de calor (transferência de energia térmica) (**figura 1 A**). Do mesmo modo, a fotossíntese e a combustão, do carvão são exemplos de transformações químicas que ocorrem, respetivamente, com absorção de energia luminosa e com liberação de calor (**figuras 1 B e C**).

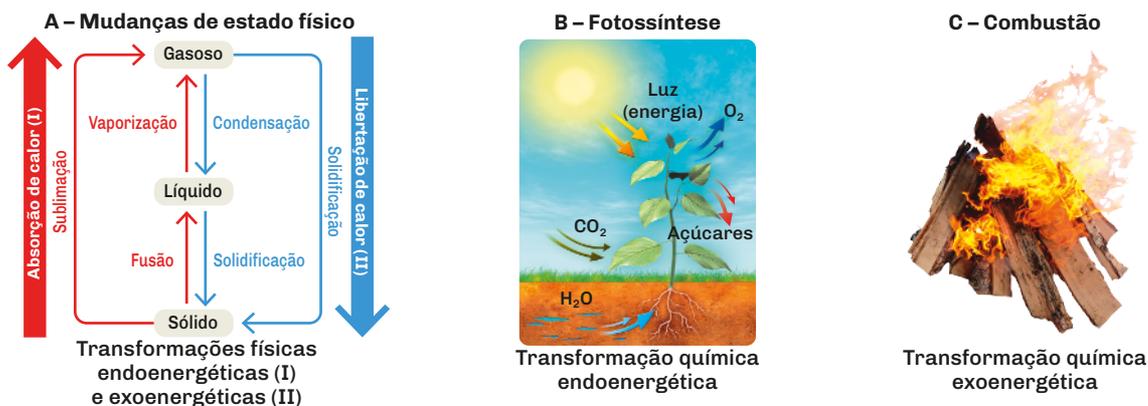


Fig. 1 Exemplos de transformações físicas e químicas endo e exoenergéticas.

Os processos que envolvem absorção de energia designam-se por endoenergéticos e os que envolvem liberação de energia, por exoenergéticos.

As reações químicas que acontecem com transferência de energia térmica também se podem designar por exotérmicas (como é o caso da combustão do carvão) ou endotérmicas (como, por exemplo, a caramelização do açúcar).

Reações exotérmicas – reações que libertam energia sob a forma de calor.

Reações endotérmicas – reações que absorvem energia sob a forma de calor.

Como já relembrámos, a ocorrência de uma reação química envolve a rutura de ligações (nos reagentes) e a formação de novas ligações (nos produtos da reação). Se a energia absorvida na rutura das ligações for diferente da energia libertada na formação das novas ligações, haverá calor envolvido na reação.

O calor envolvido numa reação química vai depender da energia absorvida na rutura das ligações (energias de dissociação, positivas) e da energia libertada na formação das novas ligações (energias de ligação, negativas).



Vídeo
Energia de uma reação química



Na **figura 2** representa-se a variação da energia potencial em função da distância internuclear para o caso da molécula de hidrogénio.

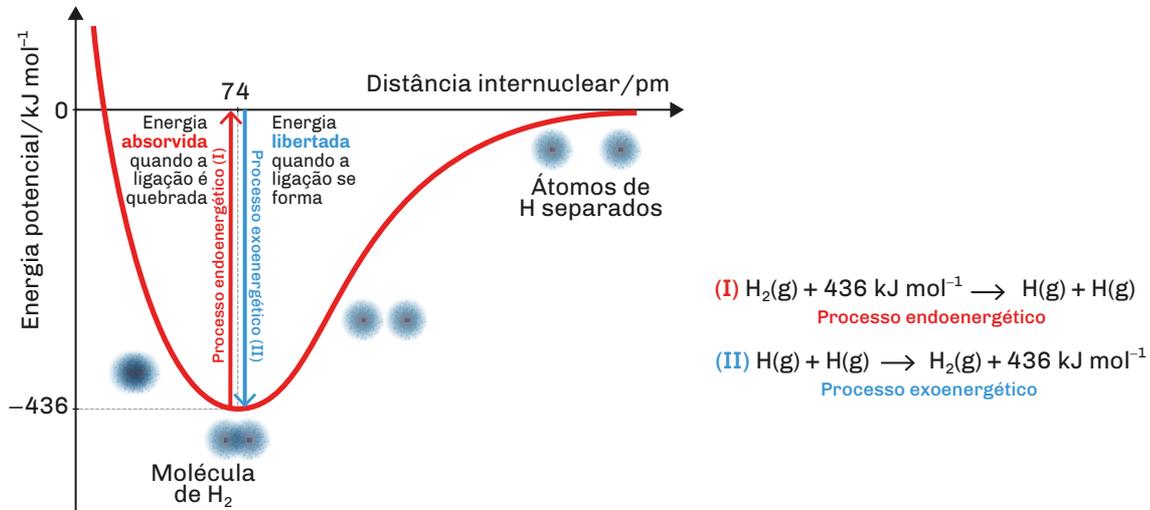


Fig. 2 Variação da energia potencial de um sistema de dois átomos de hidrogénio em função da distância internuclear.

A energia envolvida numa reação química é o balanço energético, positivo ou negativo, estabelecido entre as energias associadas à rutura (processo endoenergético) e à formação (processo exoenergético) de ligações entre os átomos. Assim, comparando a energia absorvida e a libertada nos processos de rutura e de formação de ligações, é possível avaliar se a reação é endo ou exoenergética e calcular o calor de reação.

Reação endoenergética	Reação exoenergética
A energia absorvida na rutura de ligações dos reagentes é superior à energia libertada na formação de novas ligações nos produtos.	A energia absorvida na rutura de ligações dos reagentes é inferior à energia libertada na formação de novas ligações nos produtos.

Quadro 1 Processos de rutura de ligações e formação de novas ligações em reações endo e exoenergéticas.

Variação de entalpia e energia de ativação

Quando as reações químicas se realizam a pressão constante (por exemplo, à pressão atmosférica), o calor absorvido ou libertado denomina-se **variação de entalpia** ou **entalpia da reação** e representa-se por ΔH ou $\Delta H_{\text{reação}}$. O símbolo H deriva da palavra inglesa *Heat* (calor).

As reações endotérmicas têm valores de ΔH positivos (aumento de entalpia).

As reações exotérmicas têm valores de ΔH negativos (diminuição de entalpia).



Vídeo
Variação de entalpia e energias de ligação



Reação endotérmica ($\Delta H > 0$)	Reação exotérmica ($\Delta H < 0$)
<p>Numa reação endotérmica, a entalpia dos produtos é superior à dos reagentes (ocorre um aumento de entalpia) – a entalpia da reação aumenta. Assim:</p> <ul style="list-style-type: none"> • se a reação ocorrer em sistema isolado, verifica-se uma diminuição da temperatura do sistema reacional; • se a reação ocorrer em sistema não isolado, verifica-se uma transferência de energia da vizinhança para o sistema, diminuindo, assim, a temperatura da vizinhança. 	<p>Numa reação exotérmica, a entalpia dos produtos é inferior à dos reagentes (ocorre uma diminuição de entalpia) – a entalpia da reação diminui. Assim:</p> <ul style="list-style-type: none"> • se a reação ocorrer em sistema isolado, verifica-se um aumento da temperatura do sistema reacional; • se a reação ocorrer em sistema não isolado, verifica-se uma transferência de energia do sistema para a vizinhança, aumentando, assim, a temperatura da vizinhança.
<p>Exemplo: reação do óxido nitroso com o dióxigénio.</p>	<p>Exemplo: reação do metano com o dióxigénio.</p>

Quadro 2 Balanços energéticos em reações endotérmicas e exotérmicas.

Para que uma reação química se inicie, é sempre necessário que algumas moléculas dos reagentes absorvam uma quantidade mínima de energia – a **energia de ativação** (E_a) – para atingirem um estado denominado **estado de transição** ou **complexo ativado**, que corresponde a uma configuração instável ou passageira, em que as ligações nos reagentes estão a partir-se e as ligações nos produtos estão, simultaneamente, a formar-se.

A **energia de ativação** (E_a) é a energia mínima que as partículas dos reagentes necessitam para que, ao chocarem, quebrem as suas ligações e se transformem em produtos.

A variação de entalpia de uma reação química pode ser calculada através do balanço entre a energia absorvida para a rutura de ligações nos reagentes e a energia libertada na formação de novas ligações nos produtos.

$$\Delta H = \text{Energia absorvida na rutura de ligações} - \text{Energia libertada na formação de ligações}$$

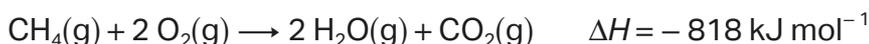
Soma das energias de todas as ligações nos reagentes

Soma das energias de todas as ligações nos produtos

Consideremos o exemplo da combustão do metano. Para determinar a **variação de entalpia** desta reação, devem ser cumpridas várias etapas (consultar tabela de energias de ligação na página 172):

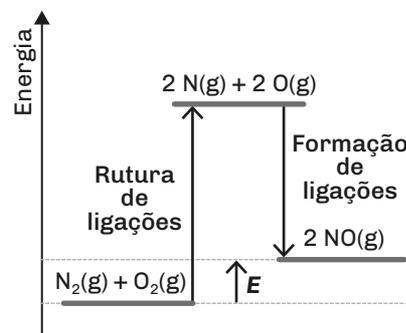
1.^a Etapa	Identificação das ligações existentes em cada molécula presente na reação química: $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$
2.^a Etapa	Cálculo da energia absorvida na rutura das ligações dos reagentes: $4 \times E_{\text{C-H}} + 2 \times E_{\text{O=O}} = 4 \times 413 \text{ kJ mol}^{-1} + 2 \times 497 \text{ kJ mol}^{-1} = 1652 \text{ kJ mol}^{-1} + 994 \text{ kJ mol}^{-1} = 2646 \text{ kJ mol}^{-1}$
3.^a Etapa	Cálculo da energia libertada durante a formação de novas ligações nos produtos: $4 \times E_{\text{O-H}} + 2 \times E_{\text{C=O}} = 4 \times 464 \text{ kJ mol}^{-1} + 2 \times 804 \text{ kJ mol}^{-1} = 1856 \text{ kJ mol}^{-1} + 1608 \text{ kJ mol}^{-1} = 3464 \text{ kJ mol}^{-1}$
4.^a Etapa	O balanço entre a energia absorvida e a energia libertada será: $\Delta H_{\text{reação}} = 2646 \text{ kJ mol}^{-1} - 3464 \text{ kJ mol}^{-1} = -818 \text{ kJ mol}^{-1}$ Como $\Delta H < 0$, a reação é exotérmica.

Confirma-se que a energia envolvida na formação das ligações nos produtos é superior à energia envolvida na rutura de ligações nos reagentes, e, assim, esta reação é exotérmica ($\Delta H < 0$). A reação pode representar-se da seguinte forma:



Exercícios resolvidos

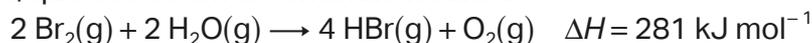
- 2 Considera o diagrama de energia apresentado.
- 2.1 Escreve a equação química que traduz a reação apresentada no diagrama.
- 2.2 Classifica, justificando, esta reação em endoenergética ou exoenergética.
- 2.3 Que representa a energia E assinalada no diagrama?



Resolução:

- 2.1. Reagentes: $N_2(g)$ e $O_2(g)$; produto da reação: $NO(g)$;
equação química: $N_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2 NO(g)$.
- 2.2. Dado que a energia envolvida na rutura de ligações (processo endoenergético) é superior à energia envolvida na formação de ligações (processo exoenergético), a reação química é endoenergética.
- 2.3. Representa o calor absorvido na reação.

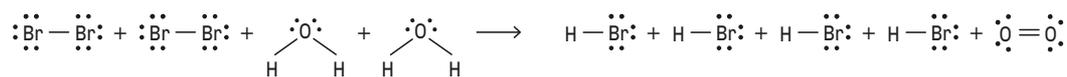
- 3 A seguinte equação química representa a reação de síntese do brometo de hidrogénio, que ocorre em sistema não isolado:



- 3.1 Trata-se de uma reação endotérmica ou exotérmica?
- 3.2 Consultando a tabela de energias de ligação na página 172, determina a energia da ligação Br–Br.
- 3.3 Se a reação ocorresse em sistema isolado, a temperatura do sistema reacional aumentaria, diminuiria ou manter-se-ia constante?

Resolução:

- 3.1. $\Delta H > 0$, a variação de entalpia é positiva, logo, esta reação é endotérmica.



- 3.2. Ligações nos reagentes e nos produtos da reação:

Energia absorvida na rutura de ligações:

$$\begin{aligned} 2 \times E(\text{Br} - \text{Br}) + 4 \times E(\text{O} - \text{H}) &= 2 \times E(\text{Br} - \text{Br}) + 4 \times 464 \text{ kJ mol}^{-1} = \\ &= 2 \times E(\text{Br} - \text{Br}) + 1856 \text{ kJ mol}^{-1} \end{aligned}$$

Energia libertada na formação de ligações:

$$4 \times E(\text{H} - \text{Br}) + 1 \times E(\text{O} = \text{O}) = 4 \times 366 \text{ kJ mol}^{-1} + 497 \text{ kJ mol}^{-1} = 1961 \text{ kJ mol}^{-1}$$

Do balanço global:

$$\Delta H = \text{Energia das ligações(reagentes)} - \text{Energia das ligações(produtos)} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 281 \text{ kJ mol}^{-1} = 2 \times E(\text{Br} - \text{Br}) + 1856 \text{ kJ mol}^{-1} - 1961 \text{ kJ mol}^{-1} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow E(\text{Br} - \text{Br}) = \frac{281 \text{ kJ mol}^{-1} - 1856 \text{ kJ mol}^{-1} + 1961 \text{ kJ mol}^{-1}}{2} = 193 \text{ kJ mol}^{-1}$$

- 3.3. Dado que $\Delta H > 0$, a temperatura do sistema reacional diminuiria.

Energia dos combustíveis fósseis

Os **combustíveis fósseis**, formados principalmente por **carbono e hidrogénio**, são originados a partir de restos de plantas e animais decompostos há milhões de anos e sedimentados nas camadas terrestres mais profundas. São exemplos destes combustíveis o **carvão mineral**, o **petróleo** e o **gás natural** que, além de serem usados na **produção de energia**, são muito utilizados atualmente, na indústria automóvel e na síntese de diversos materiais usados no nosso dia-a-dia, tais como plásticos, óleos lubrificantes, tintas, fibras e tecidos.

Os combustíveis fósseis têm uma enorme importância pois, ao serem queimados, **produzem quantidades significativas de energia** por massa de combustível.

Contudo, a queima dos combustíveis fósseis, resultante da atividade humana, constitui uma das principais causas do agravamento do **efeito de estufa** e das **alterações climáticas** a que temos assistido atualmente, verificando-se, desde a Revolução Industrial no século XVIII, um aumento generalizado na temperatura da Terra. Esse aumento é consequência do aumento da emissão de gases de efeito de estufa, sobretudo o CO_2 , mas também os óxidos de enxofre e de nitrogénio, igualmente emitidos através do uso destes combustíveis.



Atividade Investigativa 5

Objetivo:

Investigar os efeitos e as aplicações dos combustíveis fósseis.

Temas a explorar:

- 1 Aplicações dos combustíveis fósseis como fontes de energia e de matéria-prima para a indústria de materiais.
- 2 Efeitos dos combustíveis fósseis como fontes de poluição e como um fator crítico do aquecimento global e das alterações climáticas.

Etapas do desenvolvimento da atividade:

- 1 Cada grupo de trabalho escolhe um dos temas propostos.
- 2 Consultando fontes de pesquisa credíveis e validadas pelo professor, elaborar um texto que aprofunde cada um dos temas sugeridos.
- 3 Organizar um momento para a apresentação dos trabalhos.

Exercício resolvido

- 4 A tabela indica o fator de emissão de carbono (teor de carbono emitido, por energia fornecida) característicos de alguns dos combustíveis fósseis.
- 4.1 Qual dos combustíveis fósseis emite maior quantidade de dióxido de carbono pela mesma quantidade de energia fornecida? E qual emite menor quantidade?
- 4.2 Refere dois comportamentos individuais e/ou coletivos a adotar para conter a emissão de gases responsáveis pelo efeito de estufa?

Combustível	Fator de emissão (t C / T J)
Gasolina	18,9
Gasóleo	20,2
Gás natural	15,3

Resolução:

- 4.1. O combustível da tabela que apresenta um maior teor de carbono emitido por energia fornecida é o gasóleo e o que apresenta um menor teor é o gás natural. Assim, o gasóleo é o combustível que emite maior quantidade de CO_2 e o gás natural é o que emite menor quantidade de CO_2 , para a mesma energia fornecida.
- 4.2. Comportamentos individuais e/ou coletivos: comportamentos que levem à poupança de energia fornecida através da queima de combustíveis fósseis, tais como: usar transportes públicos ou bicicletas e optar por transportes e produções industriais que queimem combustíveis mais amigos do ambiente.

Energia dos alimentos

Os alimentos **são fontes de energia** imprescindíveis aos processos vitais que ocorrem no organismo, nomeadamente, a manutenção da temperatura do corpo, os movimentos musculares e a produção de novas células. Diferentes alimentos fornecem diferentes quantidades e formas de energia. A energia dos alimentos é usualmente medida em calorias e é obtida principalmente a partir de três macronutrientes: **carboidratos** (ou hidratos de carbono), **proteínas** e **gorduras**.

Os valores energéticos dos alimentos variam com base na quantidade de calorias ou joules ($1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$) fornecidos pelos macronutrientes que compõem esses alimentos.

Uma alimentação equilibrada, composta por **carboidratos, proteínas e gorduras**, garante que o corpo tenha energia suficiente para as suas atividades, além de manter o bom funcionamento das funções vitais. O valor energético dos alimentos é essencial para controlar o peso, ajustar a dieta para ganho de massa muscular ou otimizar a *performance* física.

Principais nutrientes	Energia fornecida	Principais funções	Exemplos de alimentos
 <p>Carboidratos</p>	4 kcal / g	Fonte principal de energia para o corpo, especialmente para atividades físicas e funções cerebrais.	Pão e cereais, massas, batata, batata-doce, mandioca, feijão, milho.
 <p>Proteínas</p>	4 kcal / g	Responsáveis pela produção de novas células e, em situações de déficit calórico, o corpo pode converter proteínas em glicose.	Carnes, peixe, ovos, laticínios (leite, queijo, iogurte), feijão, lentilha, ervilha, noz, amêndoa.
 <p>Gorduras</p>	9 kcal / g	Fonte concentrada de energia; são essenciais para a absorção de vitaminas (A, D, E e K) e ajudam a proteger os órgãos e a manter a temperatura corporal.	Óleos vegetais (azeite e óleos), manteiga e margarina, abacate, amêndoa, noz, amendoim, peixes gordurosos (salmão, atum).

Quadro 3 Energia fornecida e principais funções dos carboidratos, proteínas e gorduras.

O valor energético dos alimentos é determinado em função das percentagens de carboidratos, proteínas e gorduras.

Exercício resolvido

5. Através de uma análise laboratorial, verificou-se que um gelado de baunilha contém, aproximadamente, 4% de proteínas, 13% de gorduras e 21% de carboidratos, com os 62% restantes compostos, essencialmente, por água. Qual é a energia fornecida por 100 g deste gelado?

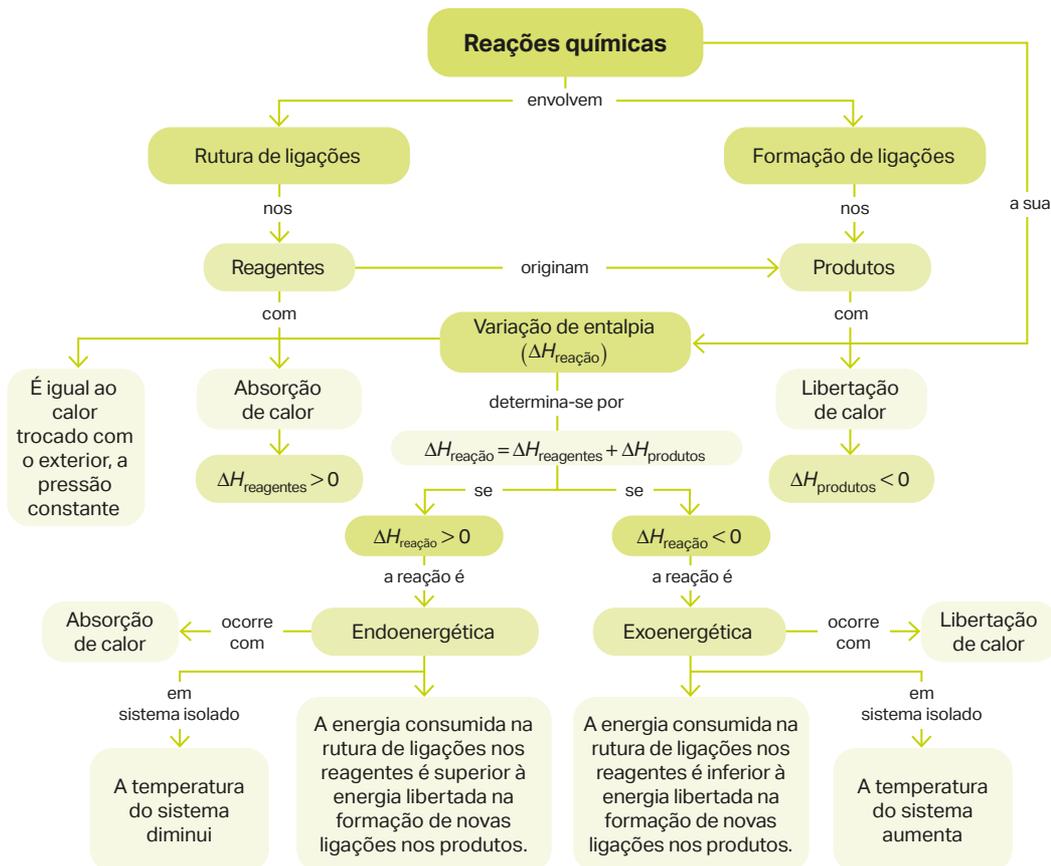
Resolução:

5. Cada grama de gelado contém 0,04 g de proteínas, 0,13 g de gorduras e 0,21 g de carboidratos. Assim, a energia total por grama é:

$$(0,04 \times 4 \text{ kcal}) + (0,13 \times 9,0 \text{ kcal}) + (0,21 \times 4 \text{ kcal}) = 0,16 + 1,17 + 0,84 = 2,17 \text{ kcal.}$$

A energia total fornecida por 100 g de gelado é 217 kcal.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

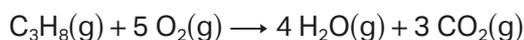
- Reações **exotérmicas** – reações que libertam energia sob a forma de calor.
- Reações **endotérmicas** – reações que absorvem energia sob a forma de calor.
- O calor envolvido numa reação química vai depender da energia absorvida na rutura das ligações (energias de dissociação, positivas) e da energia libertada na formação das novas ligações (energias de ligação, negativas).
- Quando as reações químicas se realizam a **pressão constante** (por exemplo, à pressão atmosférica), o calor absorvido ou libertado denomina-se **variação de entalpia** ou entalpia da reação e representa-se por ΔH ou $\Delta H_{\text{reação}}$.
- Numa reação endotérmica ($\Delta H > 0$), ocorre um aumento da entalpia da reação (a entalpia dos produtos é superior à dos reagentes). Quando ocorre em sistema isolado, verifica-se uma diminuição da temperatura do sistema reacional.
- Numa reação exotérmica ($\Delta H < 0$), ocorre uma diminuição da entalpia da reação. Quando ocorre em sistema isolado, verifica-se um aumento da temperatura do sistema reacional.
- $\Delta H_{\text{reação}} =$ Energia absorvida na rutura de ligações – Energia libertada na formação de ligações

Exercícios de aplicação

1 Classifica em verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das afirmações seguintes:

- (A) A formação de uma ligação química entre átomos envolve a absorção de energia, logo, é um processo endoenergético.
- (B) O processo de rutura de uma ligação química é endoenergético, dado que envolve a absorção de energia.
- (C) Nas reações químicas exoenergéticas, a energia envolvida na rutura de ligações nos reagentes é superior à energia envolvida na formação de novas ligações nos produtos.
- (D) Quando uma reação química endoenergética ocorre em sistema isolado, verifica-se um aumento da temperatura do sistema reacional.
- (E) A variação de entalpia de uma reação é a energia transferida, sob a forma de calor, entre o sistema e a vizinhança, a pressão constante.
- (F) A energia de ativação é igual à energia absorvida na rutura das ligações químicas.

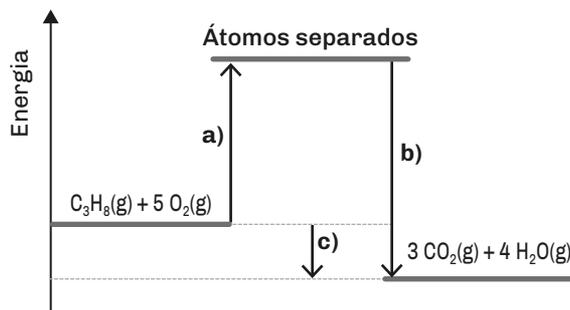
2 Considera a reação de combustão do propano:



- 2.1.** Indica a fórmula de estrutura de cada uma das espécies moleculares envolvidas na reação química.
- 2.2.** Tendo por base o número de ligações químicas envolvidas, bem como os respetivos valores das energias de ligação que constam da tabela da página 172:
 - 2.2.1.** calcula a variação de entalpia relativa à combustão do propano;
 - 2.2.2.** justifica o facto de esta reação ser exotérmica.

2.3. Se a reação de combustão ocorrer em sistema isolado, a temperatura do sistema reacional aumenta ou diminui?

2.4. Completa o diagrama de energia ao lado, indicando o significado de cada umas das letras **a)**, **b)** e **c)**.



3 Os combustíveis fósseis são importantes fontes de energia. Indica os principais constituintes destes combustíveis, responsáveis pelo aquecimento global e pelas chuvas ácidas.

4.2. Reações químicas no meio ambiente

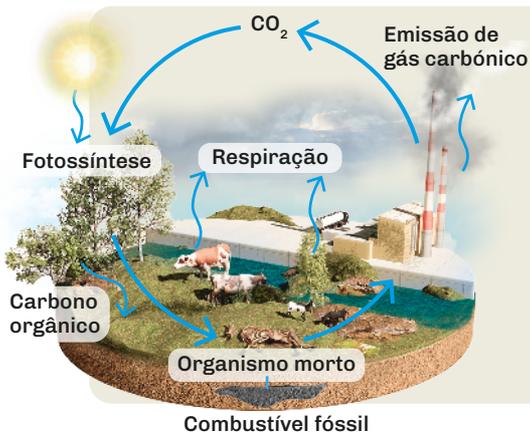
Química na biosfera

De acordo com a sua composição e estado físico, a Terra pode dividir-se em várias **esferas químicas**: a **atmosfera** (formada por gases, maioritariamente dinitrogénio e dióxigénio), a **hidrosfera** (abrange todos os meios onde a água é o elemento dominante, como rios, oceanos, etc.), a **litosfera** (parte superficial rígida do globo terrestre, formada por rochas) e a **biosfera**, que é o conjunto formado por todas as espécies vivas e os meios em que elas evoluem.

A **Química da biosfera** estuda todos os organismos vivos e é influenciada pela Química dos outros domínios do ambiente, como a litosfera, hidrosfera e atmosfera.

Elementos químicos dominantes na biosfera

Além da água, os elementos dominantes na biosfera são o carbono, o nitrogénio, o oxigénio, o enxofre e o fósforo. Os mecanismos de circulação desses elementos entre a biosfera e as restantes esferas são determinantes para a vida na Terra. São esses **ciclos** que possibilitam que os elementos interajam com o meio ambiente e com os seres vivos, ou seja, garantem que o elemento flua pela atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera. Estes ciclos são designados por **ciclos biogeoquímicos** porque envolvem os **movimentos cíclicos** dos elementos que formam os organismos vivos (**bio**) e o ambiente (**geo**).

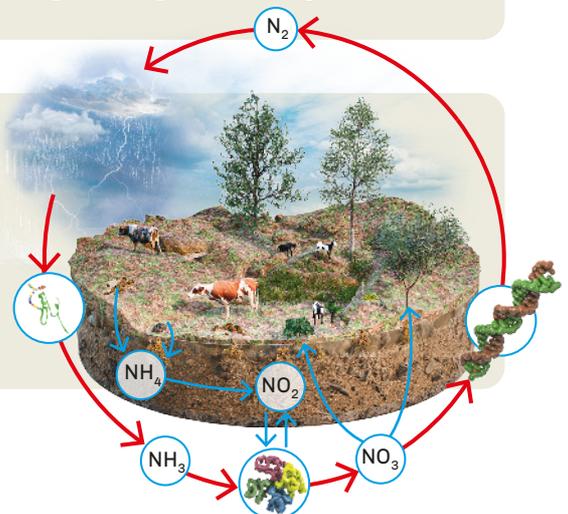


Ciclo do carbono

O carbono faz parte da estrutura de todas as moléculas orgânicas, combinando-se com hidrogénio e oxigénio para formar carboidratos. Está ainda presente nas rochas, nos oceanos e na atmosfera. Os processos de fotossíntese, respiração e decomposição são essenciais para o ciclo do carbono. As ações do ser humano têm provocado um aumento do CO_2 na atmosfera, acentuando o efeito de estufa e contribuindo para o aquecimento global.

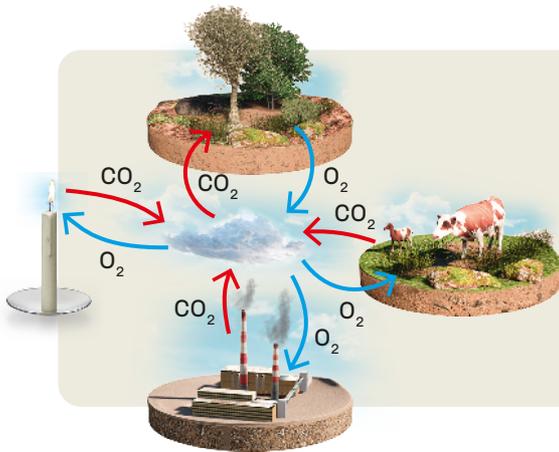
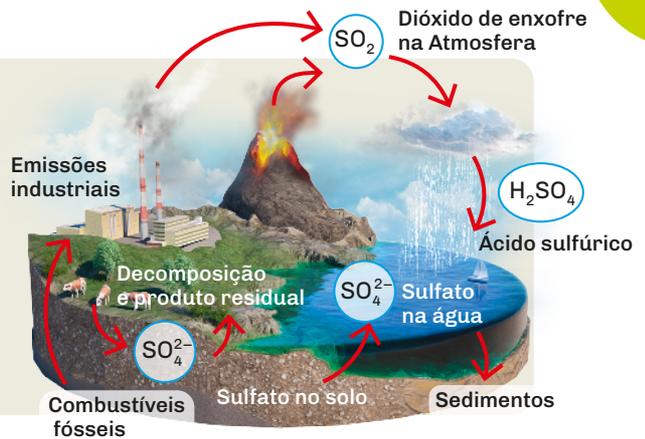
Ciclo do nitrogénio

Este ciclo garante a circulação do nitrogénio, utilizado pelos seres vivos, por exemplo, na formação de aminoácidos e proteínas. Durante este ciclo, o nitrogénio circula através das plantas e do solo pela ação de organismos vivos.



Ciclo do enxofre

O enxofre integra a síntese de proteínas, sendo constituinte de alguns aminoácidos. O ciclo do enxofre envolve etapas no solo, na água e na atmosfera. Os **sulfatos** são algumas das formas mais importantes do enxofre. A combustão de combustíveis fósseis interfere no ciclo, libertando dióxidos de enxofre, que causam danos no organismo, além de provocarem, em certas situações, chuvas ácidas.

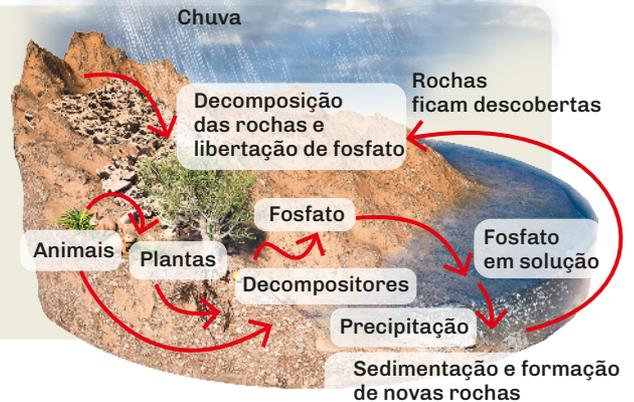


Ciclo do oxigênio

O oxigênio é extremamente importante para a sobrevivência dos seres vivos, sendo fundamental, por exemplo, na respiração celular, formação da camada de ozônio e combustão. O ciclo de oxigênio está associado ao do carbono. O oxigênio libertado para a atmosfera é proveniente da quebra de moléculas de água durante a fotossíntese. Durante este processo, os organismos retiram CO_2 do ambiente e libertam O_2 .

Ciclo do fósforo

Este elemento é constituinte de rochas da crosta terrestre, onde se encontra principalmente na forma de fosfato. Obtém-se através da degradação de minerais. É a partir da absorção do fósforo que os vegetais conseguem sintetizar compostos orgânicos, podendo assim transmiti-los a outros seres vivos, através de fluxos de matéria e energia.



Ciclo da água

O ciclo da água é importante para garantir o abastecimento de água potável e o equilíbrio entre os ecossistemas. Os seres vivos ingerem ou absorvem a água do ambiente e utilizam-na em diversas reações nos seus organismos. A água é devolvida ao ambiente pelos seres vivos através da respiração, transpiração e excreção.

Fotossíntese e respiração

Já salientámos a importância da biosfera para o equilíbrio dos ecossistemas. A fotossíntese e a respiração são particularmente importantes nesse equilíbrio, intervindo de forma direta nos ciclos do carbono e do oxigénio.

Manual Digital

Vídeo
Produtos da
fotossíntese e
da respiração
celular



Fotossíntese	Respiração celular aeróbia
<ul style="list-style-type: none"> – É responsável pela obtenção de energia da biosfera e converte energia solar (absorvida pela clorofila) em energia química. – O CO_2 e o H_2O são consumidos, havendo produção de carboidratos (ex.: glicose) e O_2. – Equação química: $n \text{CO}_2 + n \text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{Clorofila}]{\text{Luz}} n (\text{CH}_2\text{O})_n + n \text{O}_2$ 	<ul style="list-style-type: none"> – É o processo de obtenção de energia mais utilizado pelos seres vivos, maioritariamente através da combustão de carboidratos. – Os carboidratos, $(\text{CH}_2\text{O})_n$, são convertidos em CO_2 e H_2O, na presença de O_2. – Equação química: $n (\text{CH}_2\text{O})_n + n \text{O}_2 \rightarrow \text{energia} + n \text{H}_2\text{O} + n \text{CO}_2$

Quadro 4 Comparação da fotossíntese e da respiração celular aeróbia como processos complementares.

A **fotossíntese** e a **respiração celular aeróbia** são processos complementares: os produtos da respiração celular, o dióxido de carbono e a água, são consumidos na fotossíntese e é libertado dioxigénio e são produzidos carboidratos, ambos utilizados na respiração celular.

Combustão dos alimentos

Na respiração celular, os nutrientes que são "queimados" para produzir energia, apesar de serem maioritariamente **carboidratos** (ou **hidratos de carbono**), incluem também os **lípidos** e as **proteínas**. Estes macronutrientes são utilizados em diferentes condições e de acordo com as necessidades energéticas do corpo:

- Os **carboidratos** são os primeiros a serem utilizados, dado serem a fonte mais prontamente disponível de energia.
- Os **lípidos** são usados como reserva de energia de longo prazo e são mobilizados quando os carboidratos são insuficientes.
- As **proteínas** são preservadas ao máximo para funções estruturais e funcionais, como construção de tecidos, e são usadas como fonte de energia apenas em condições de privação severa.



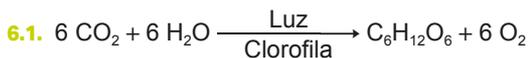
Fig. 3 Diferentes alimentos têm diferentes proporções de nutrientes.

A combustão de carboidratos, proteínas e lípidos, que acontece nas células, fornece a energia necessária aos processos biológicos vitais, como síntese de proteínas, divisão celular, contração muscular e manutenção da temperatura corporal.

Exercícios resolvidos

- 6 A fotossíntese e a respiração são particularmente importantes para o equilíbrio dos ecossistemas, intervindo, nomeadamente, nos ciclos do carbono e do oxigénio.
- 6.1 Escreve a equação química da fotossíntese, admitindo que um dos produtos da reação é a glicose.
- 6.2 Compara a fotossíntese e a respiração celular em termos de reagentes e produtos e função biológica.

Resolução:



6.2.

Reagentes e produtos:

Fotossíntese: reagentes – CO_2 e H_2O ;
produtos – $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ e O_2 .

Respiração celular: reagentes – $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ e O_2 ;
produtos – CO_2 e H_2O .

Função biológica:

Fotossíntese: converte energia luminosa em energia química armazenada na glicose.

Respiração celular: liberta energia armazenada na glicose usada para realizar trabalho celular.

- 7 Justifica a afirmação seguinte: *O processo de combustão de alimentos é fundamental para o funcionamento do corpo.*

Resolução:

7. A combustão de alimentos é fundamental para fornecer a energia necessária para manter todas as atividades vitais do organismo. Sem esse processo, as células não poderiam funcionar, resultando na falha dos sistemas corporais, podendo levar, em casos limite, à morte.

Reações no solo

O solo é uma mistura de matéria orgânica, originada por restos animais e vegetais em decomposição, fragmentos de rocha, partículas minerais, água e ar. As reações no solo – que envolvem interações entre elementos químicos, microrganismos e plantas – desempenham um papel crucial na regulação da fertilidade do solo, no ciclo de nutrientes e na saúde global dos ecossistemas.

Componentes principais do solo

De acordo com a composição média, o solo é constituído por três fases: **sólida**, **líquida** e **gasosa**.

Fase sólida	Fase líquida	Fase gasosa
Formada por substâncias provenientes de animais mortos e de produtos da degradação biológica (feita por fungos e bactérias) e predominantemente oriundas de rochas desagregadas por ações físicas ou químicas no local ou trazidas pelo ar ou água.	Proveniente principalmente de água de precipitações, como chuvas, neblina, orvalho e degelo. Nessa fase, estão presentes substâncias das fases sólida e gasosa. A água do solo pode conter inúmeros materiais orgânicos e inorgânicos.	Proveniente do ar existente na superfície, apresentando os mesmos componentes presentes no ar atmosférico (O_2 , CO_2 , N_2 e $H_2O(g)$) com proporções diferentes devido à decomposição de matéria orgânica e às reações ocorridas no solo. Em biodegradação aeróbia predomina o CO_2 e em biodegradação anaeróbia predominam outros gases como o metano (CH_4).

Quadro 5 Componentes essenciais nas três fases do solo.

Os componentes principais do solo são, na fase sólida, minerais e matéria orgânica; na fase líquida, água e substâncias dissolvidas; na fase gasosa, O_2 , CO_2 , N_2 , $H_2O(g)$ e, quando predomina a biodegradação anaeróbia, o CH_4 .

De notar que, por exemplo, na ilha de Santiago, os solos apresentam elevadas concentrações de Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, V e Zn e valores muito baixos de matéria orgânica, quando comparados com os valores médios mundiais, devido a uma combinação de fatores climáticos, geográficos e de uso do solo.

Mineralização e acidez do solo

Mineralização do solo

Uma das principais reações que ocorrem no solo são as reações de mineralização. O processo de mineralização do solo é de extrema importância porque transforma a matéria orgânica em nutrientes minerais que podem ser absorvidos pelas plantas.

A **mineralização** do solo é o processo biológico essencial no ciclo de nutrientes no qual a matéria orgânica (restos de plantas e animais) é decomposta por microrganismos, resultando na libertação de nutrientes inorgânicos no solo, como nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{3-}) e sulfatos (SO_4^{2-}), que podem ser absorvidos pelas plantas.

Esses nutrientes são imprescindíveis ao crescimento das plantas, garantindo a disponibilidade de elementos, como nitrogênio, fósforo e enxofre para as plantas. Sem a existência deste processo, os nutrientes permaneceriam na forma orgânica, impedindo-os de serem absorvidos pelas raízes das plantas, comprometendo, assim, o acesso a nutrientes vitais necessários para a fotossíntese, produção de proteínas, divisão celular e outras funções fisiológicas.

Acidez do solo

Outra característica importante dos solos é o seu pH (medida de acidez ou alcalinidade), que condiciona frequentemente o crescimento de certas plantas. Os valores de pH nos solos variam entre 3 e 9, estando os valores inferiores a 7 associados aos solos ácidos e os superiores a 7 a solos alcalinos. O intervalo de pH globalmente mais favorável à absorção dos nutrientes por parte das plantas e ideal para a agricultura é entre 5,5 e 6,5. No entanto, algumas espécies desenvolvem-se melhor em solos ácidos e outras em solos alcalinos. Para determinados valores de pH, alguns nutrientes tornam-se insolúveis e ficam indisponíveis para as raízes. Por exemplo, em solos ácidos o cálcio e o magnésio estão menos disponíveis, enquanto em solos alcalinos é o ferro, o zinco e o cobre que estão menos acessíveis.

A acidez do solo acontece durante o processo de decomposição de matéria orgânica, quando ocorre a formação de ácidos orgânicos e inorgânicos, e é causada por vários fatores que podem ser naturais ou resultantes de atividades humanas. O quadro seguinte apresenta as principais causas da acidez do solo.

Chuvas intensas e chuvas ácidas	Fertilizantes nitrogenados	Erosão e extração de nutrientes
Em regiões com alta pluviosidade, a água da chuva pode dissolver e arrastar do solo nutrientes alcalinos, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , cuja perda contribui para o aumento da acidez do solo. Quando as chuvas ácidas caem no solo, podem diminuir o pH ao adicionar mais iões H^+ , tornando-o mais ácido.	O uso excessivo de fertilizantes nitrogenados, como ureia, sulfato ou nitrato de amónio, pode aumentar a acidez do solo. Isso ocorre porque, durante a conversão de amónio em nitrato por parte das bactérias, são libertados iões H^+ , reduzindo o pH do solo.	Práticas agrícolas que causam erosão do solo e a remoção constante de culturas sem a reposição adequada de nutrientes podem levar ao esgotamento de cationes básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) no solo, resultando numa maior acidez.

Quadro 6 Principais causas da acidez do solo.

Na ilha de Santiago, por exemplo, os valores de pH do solo variam maioritariamente entre 7,6 e 8,5, sendo, portanto, solos alcalinos.

Este facto deve-se à composição química das rochas, à baixa pluviosidade e à reduzida idade do arquipélago de Cabo Verde, realidades que levam a uma baixa concentração de matéria orgânica e a altas concentrações de iões alcalinos na superfície do solo.

Neste caso, para aumentar a produtividade agrícola, é frequentemente adicionada ao solo matéria orgânica, que, ao libertar ácidos durante a sua degradação, torna o solo mais ácido, favorecendo a absorção dos nutrientes pelas plantas.



Fig. 4 Produção agrícola em Santiago.

Poluição no solo

A poluição do ambiente implica um desequilíbrio que afeta todas as características do solo e altera todos os processos que comprometem a fertilidade do solo.

Destacaremos a poluição química, que corresponde à incorporação de elementos ou de compostos em concentrações que alteram a composição original do solo.

Manual Digital

Vídeo
Poluição do solo



Poluentes inorgânicos	Poluentes orgânicos
<p>Podem ter origem em atividades industriais, agrícolas, urbanas ou mesmo naturais. Podem ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> – nutrientes em excesso por uso excessivo de fertilizantes; por exemplo, o fósforo e o nitrogénio estão presentes de forma natural no solo numa quantidade regulada pelos respetivos ciclos biológicos, mas, com o aumento da concentração destes elementos, podem alterar a capacidade regulatória do solo, tornando-se contaminantes; – metais pesados, como chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cádmio (Cd), arsénio (As) e cromo (Cr), provenientes de atividades industriais e mineração, e disposição inadequada de resíduos eletrônicos); – sais solúveis (cloretos, sulfatos, carbonatos). 	<p>São o maior grupo de poluentes e têm diferentes efeitos sobre o meio ambiente, podendo ser altamente tóxicos. Dos poluentes orgânicos fazem parte os compostos que possuem carbono na sua estrutura, onde se incluem produtos sintéticos e naturais que resultam de atividades humanas, tais como os detergentes, pesticidas (ex.: DDT), fármacos, hidrocarbonetos aromáticos (ex.: fenóis), entre outros.</p>

Quadro 7 Principais poluentes químicos do solo.



Ao contrário do uso de **fertilizantes orgânicos**, que aumentam a biodiversidade do solo com o surgimento de microrganismos e fungos que contribuem para o crescimento das plantas, os **fertilizantes inorgânicos**, quando usados em excesso, são um dos principais responsáveis pela contaminação do solo, da água e do ar, representando, consequentemente, uma ameaça à saúde humana e ao meio ambiente.

Os **fertilizantes nitrogenados** (tais como a ureia, os nitratos de amónio, de cálcio, de sódio ou de potássio, o sulfato de amónio e o amoníaco) são, de todos os fertilizantes, os mais utilizados no mundo e são também os mais prejudiciais.

Fig. 5 Exemplo de fertilizante nitrogenado usado na produção agrícola.

Contaminação do solo	Contaminação da água	Contaminação do ar
Os vegetais cultivados em solos com excesso de fertilizantes nitrogenados possuem elevada concentração de nitratos. O consumo regular destes alimentos está associado a riscos para a saúde, como distúrbios digestivos e potenciais efeitos cancerígenos.	O escoamento de fertilizantes nitrogenados , através da infiltração no solo e do seu arrastamento para o meio aquático , nomeadamente rios e lagos, pode causar a proliferação excessiva de algas em corpos de água, o que reduz a qualidade da água e impede a entrada de luz na água, diminuindo a atividade fotossintética, o que leva a um decréscimo na concentração de oxigénio com consequente morte de peixes e putrefação anaeróbica dos mesmos, libertando substâncias com odor desagradável (como H_2S) e toxinas que afetam a saúde humana, especialmente em áreas de pesca e lazer.	O amoníaco libertado no ar, resultante do uso de fertilizantes nitrogenados, pode contribuir para a formação de material particulado fino que está associado a problemas respiratórios e cardiovasculares, incluindo asma e doenças pulmonares crónicas.
Os nitratos podem ser convertidos em nitritos , que, por sua vez, podem reagir com aminas para formar nitrosaminas . Estas são substâncias cancerígenas que podem estar presentes em alimentos processados ou na água potável contaminada. Os nitritos, por outro lado, ao oxidar o Fe^{2+} , presente na hemoglobina, a Fe^{3+} , impede-a de transportar o oxigénio de forma eficaz, comprometendo a respiração, e podendo, em situações mais graves, conduzir à morte.		

Quadro 8 Principais malefícios para a saúde do uso excessivo de fertilizantes nitrogenados.

Exercícios resolvidos

- 8 Ao contrário do que se verifica na ilha de Santiago, grande parte dos solos no planeta são ácidos, afetando, quando excessivamente ácidos, a sua fertilidade. Esta excessiva acidez do solo pode ser causada por fatores naturais ou antropogénicos. Indica, justificando, duas causas dessa acidez do solo provocadas por ação do ser humano.

Resolução:

8. Duas possíveis causas antropogénicas: chuvas ácidas e uso de fertilizantes nitrogenados. As chuvas ácidas ocorrem devido à precipitação de água contendo ácidos, formados a partir da reação de poluentes atmosféricos – como dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogénio (NO_x), libertados, por exemplo, a partir da queima de combustíveis fósseis – com a água. Esses ácidos (principalmente ácido sulfúrico e ácido nítrico) aumentam a acidez do solo. Os fertilizantes nitrogenados, como ureia e sulfato de amónio, libertam iões amónio (NH_4^+) no solo, que, ao serem transformados em nitratos (NO_3^-) pelos microrganismos do solo, libertam iões H^+ , aumentando a acidez do solo.

- 9 Justifica a afirmação seguinte: *O processo de mineralização do solo é fundamental no ciclo dos nutrientes e, conseqüentemente, essencial ao desenvolvimento das plantas.*

Resolução:

9. A mineralização do solo é o processo biológico que consiste na decomposição de matéria orgânica (como restos de plantas e animais) por parte de microrganismos, resultando na libertação de nutrientes inorgânicos, como nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{3-}) e sulfatos (SO_4^{2-}) no solo. Esses nutrientes são essenciais para o crescimento das plantas, tornando a mineralização um processo fundamental no ciclo dos nutrientes, garantindo a disponibilidade de elementos como nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) para as plantas.

- 10 Os poluentes químicos do solo têm diversas origens e impactes ambientais. Identifica dois poluentes químicos comuns encontrados no solo e os seus potenciais impactes no ambiente e na saúde humana.

Resolução:

10. Poluentes comuns no solo: metais pesados e pesticidas.
Os metais pesados podem ser tóxicos para as plantas, inibindo o seu crescimento e afetando a fotossíntese. Na saúde humana, podem causar problemas neurológicos e renais se ingeridos através de alimentos contaminados.
Os pesticidas eliminam organismos benéficos no solo, comprometendo a biodiversidade. Em humanos, podem causar problemas de saúde, incluindo cancro e distúrbios endócrinos. Os pesticidas organoclorados (ex.: DDT), amplamente usados na agricultura para o controlo de pragas, foram banidos em muitos países devido à sua persistência, bioacumulação e efeitos nefastos para a saúde.



Vídeo
Importância da composição da água para a saúde

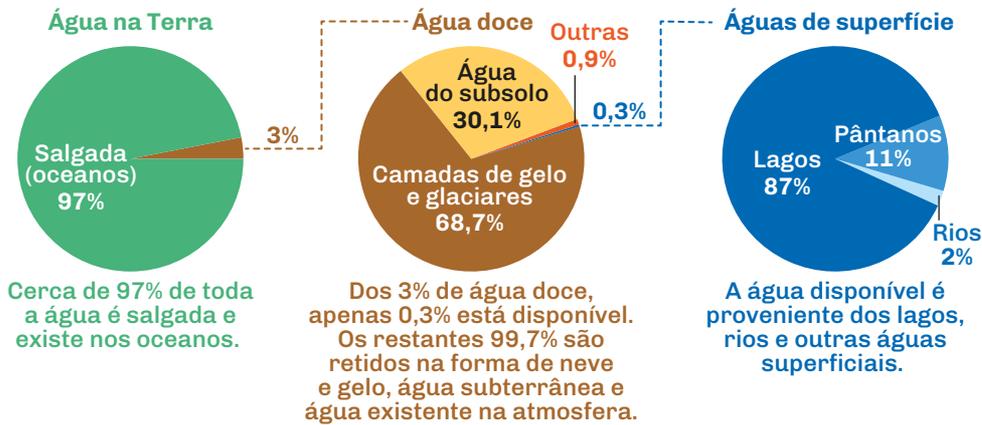


Reações em meio aquático

A água é um bem essencial, indispensável à vida dos seres vivos e ao desenvolvimento da sociedade humana.

A **água natural** é um componente essencial à fotossíntese e um produto da respiração e é vital na circulação dos elementos químicos (constituintes das substâncias) entre os diferentes domínios do ambiente.

Curiosamente, a percentagem de água que compõe o corpo humano é, em média, muito próxima da percentagem da Terra coberta por água no estado líquido: cerca de 60% nos adultos e 70% a 80% nos recém-nascidos. Na Terra, isso equivale, em média, a um volume de água próximo de 1 400 000 000 km^3 ! Será que esta quantidade é suficiente para toda a humanidade? Fará sentido a crescente preocupação por parte dos especialistas sobre a escassez da água?



Se imaginarmos que toda a água do planeta está contida num recipiente de 1000 L, o volume de toda a água disponível seria 0,09 L = 90 mL (meio copo de água!).

Fig. 6 Distribuição da água na Terra.

Os dados da **figura 6** confirmam a preocupação dos especialistas: embora a água na Terra seja abundante e constante, a percentagem de água disponível para utilização pela sociedade humana, por se limitar à quantidade e qualidade das reservas de água doce obtidas de lagos, rios e águas superficiais, é uma raridade muito preocupante em vários países, nomeadamente em Cabo Verde.

Composição das águas naturais

As diferentes águas (doces ou salgadas) são soluções aquosas contendo sais e gases, como o dióxido de carbono, dissolvidos.

Água pura	Água potável	Água natural
<p>É a substância H_2O, especial por ser a única substância encontrada nos três estados físicos (sólido, líquido e gasoso) às temperaturas normalmente registadas na Terra.</p> <p>Caracteriza-se por: p.e. = 100,0 °C e p.f. = 0,0 °C (ao nível do mar); pH = 7,0 (a 25 °C); $\rho = 1,0 \text{ g mL}^{-1}$ (máxima a 4 °C).</p> 	<p>É uma água própria para consumo humano, caracterizada por não possuir cor, cheiro e nenhuma substância ou organismo que possa trazer risco à saúde humana. É composta por H_2O e sais minerais dissolvidos.</p> 	<p>É uma mistura de água pura e substâncias dissolvidas (incluindo sais e gases) e, em determinados casos, microrganismos.</p> 

Quadro 9 Caracterização das diferentes águas.

A água é denominada "**solvente universal**" por dissolver mais substâncias do que qualquer outro líquido. Isto significa que onde quer que a água se desloque, através do solo ou através do corpo, leva consigo produtos químicos, incluindo minerais e nutrientes.

A **tensão superficial muito elevada** permite à água (e substâncias nela dissolvidas) percorrer as raízes das plantas e os pequenos vasos sanguíneos do corpo.

O facto de a água ser quase **transparente à luz visível** é fundamental para que se possa realizar a fotossíntese nos ambientes aquáticos.

A propriedade da água **reduzir a sua densidade a partir dos 4 °C** é fundamental para toda a vida na Terra, dado que a água a essa temperatura é mais densa do que a água a 0 °C. Em lagos, albufeiras e outras massas de água, durante os períodos mais frios, a água mais densa (mais "quente") desloca-se para zonas mais profundas, enquanto a água mais "fria" (menos densa) fica mais próxima da superfície.

A água também exerce um papel importante na **regulação do clima da Terra** associado às mudanças de fase. A evaporação "retira calor" dos ambientes mais "quentes" e a condensação "devolve o calor", amenizando a temperatura dos ambientes mais "frios".

Reações químicas e qualidade da água

A água, devido às suas já citadas propriedades únicas, desempenha um papel fundamental nas reações que ocorrem em meio aquático. O quadro seguinte apresenta as principais categorias dessas reações químicas:

Ácido-base	Precipitação e solubilidade	Oxidação-redução (redox)
<p>Reações entre ácidos e bases que ocorrem em solução aquosa.</p> <p>Exemplo: a absorção de CO₂ atmosférico pela água do mar leva à formação de ácido carbónico, responsável pela acidificação dos oceanos.</p> $\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	<p>Reações em que a combinação de iões em solução forma um composto insolúvel, que precipita. São amplamente utilizadas no tratamento de água para remover contaminantes.</p> <p>Exemplo: o anião sulfureto é usado para precipitar o poluente chumbo.</p> $\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{S}^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{PbS}(\text{s})$ <p>Outro exemplo: formação de rochas calcárias em grutas ou recifes de coral no mar.</p> $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s})$	<p>Reações em que ocorre transferência de eletrões entre os reagentes.</p> <p>Exemplo: a fotossíntese é uma reação redox essencial em plantas aquáticas, algas e cianobactérias, em que a água é oxidada para produzir oxigénio, e o dióxido de carbono é reduzido para formar glicose.</p> $6 \text{CO}_2(\text{aq}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{aq}) + 6 \text{O}_2(\text{g})$

Quadro 10 Principais categorias das reações químicas que ocorrem em meio aquático.

Poluição aquática

O termo *poluição da água* refere-se à alteração das suas características por quaisquer ações ou interferências naturais ou provocadas pelo ser humano, que lhe confere aspectos indesejados.

A poluição deve estar associada ao uso que se faz da água e deve considerar-se que mesmo a água com aparência satisfatória pode conter substâncias tóxicas ou microrganismos patogênicos que inviabilizam o seu uso enquanto águas com aspecto desagradável podem ter determinadas utilizações.

O quadro seguinte apresenta três das principais categorias de poluentes:

Poluentes químicos	Poluentes biológicos	Poluentes físicos
<p>Pesticidas (inseticidas e herbicidas) e fertilizantes nitrogenados usados na agricultura.</p> <p>Metais pesados (Hg, Pb, Cd, As e Cr) resultantes da indústria e do descarte de materiais eletrônicos (pilhas, baterias, etc.).</p> <p>Compostos orgânicos voláteis (COVs), presentes em materiais sintéticos ou naturais, como solventes, tintas, colas e combustíveis.</p>	<p>Microrganismos patogênicos: bactérias, vírus e parasitas que contaminam fontes de água. Incluem <i>E. coli</i>, <i>Salmonella</i>, <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i>.</p> <p>Este tipo de poluição resulta do lançamento de esgotos, industriais ou domésticos, sem tratamento adequado.</p> <p>Beber água contaminada por excrementos leva a doenças como a cólera, hepatite A e disenteria.</p>	<p>Partículas em suspensão, originárias do solo (como areia e argila), devido à erosão do solo e à extração de minérios. Este tipo de poluição bloqueia os raios solares de entrar na água, impossibilitando os animais de encontrar alimento.</p> <p>Plásticos (que dão origem a microplásticos), metais, papel e outros que podem poluir rios, lagos e oceanos, afetando a vida marinha e poluindo a água potável.</p>
		

Quadro 11 Principais categorias dos poluentes no meio aquático.

A poluição da água é um problema complexo que requer ações coordenadas de governos, indústrias e sociedade para minimizar os seus efeitos.



Vídeo
Fontes poluidoras das águas continentais



O quadro seguinte apresenta os principais impactes dos poluentes na água.

Saúde humana	Ecossistemas aquáticos	Economia
Os metais pesados, pesticidas e microrganismos patogénicos, por exemplo, podem causar doenças graves, incluindo cancro, problemas neurológicos, doenças gastrointestinais e danos ao sistema reprodutivo.	A contaminação da água pode levar à perda de biodiversidade, redução ou destruição de populações de peixes, destruição de <i>habitats</i> e redução na qualidade dos alimentos.	Atividades económicas como pesca, turismo e agricultura podem ser afetadas pela poluição da água. Por outro lado, os custos associados ao tratamento de água poluída (ou contaminada) para a tornar potável são elevados.

Quadro 12 Principais impactes dos poluentes na água.

Exercício resolvido

- 11 A poluição aquática, originada por diferentes fontes, apresenta impactes adversos nos ecossistemas e na saúde humana.
 - 11.1 Identifica três fontes possíveis de poluição aquática e respetivos poluentes químicos.
 - 11.2 Identifica possíveis soluções para mitigar os impactes no ambiente aquático e na saúde humana, dos poluentes identificados em 1.1.

Resolução:

11.1. Três fontes possíveis de poluição aquática são:

- agricultura (através do uso excessivo de fertilizantes e pesticidas que escoam para rios e lagos);
- indústria (através de descarte em corpos de água de resíduos industriais, incluindo metais pesados e produtos químicos, sem tratamento prévio adequado);
- águas residuais urbanas (por via do lançamento de esgoto doméstico não tratado em rios e oceanos, que introduz microrganismos patogénicos e substâncias químicas tóxicas).

11.2. Soluções para a poluição aquática: implementar sistemas de tratamento de esgoto mais eficientes para remover contaminantes antes que a água seja lançada em corpos de água e usar práticas agrícolas que permitam reduzir a necessidade de fertilizantes e pesticidas químicos como, por exemplo, rotação de culturas e controlo biológico de pragas.

Reações na atmosfera

A atmosfera terrestre é uma mistura de gases que envolve a Terra, essencial para a vida, e que se encontra dividida, por ordem crescente de altitude, na troposfera (onde circulam os aviões), estratosfera (onde se encontra a camada de ozono), mesosfera (onde ocorre o fenómeno das estrelas cadentes), termosfera (onde circulam as naves espaciais) e exosfera (onde se localizam os satélites geoestacionários).

Composição química da atmosfera terrestre

Dependendo da respetiva camada, a atmosfera terrestre apresenta diferentes composições, sendo maioritariamente constituída por dinitrogénio (N_2) e dióxigénio (O_2). Outros gases, como água (H_2O), dióxido de carbono (CO_2) e árgon (Ar), existem em quantidades minoritárias, e ainda outros, como metano (CH_4), di-hidrogénio (H_2) e gases nobres (He, Ne e Kr), em quantidades vestigiais.

A atmosfera também contém pequenas quantidades de outros compostos, como ozono (O_3), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogénio (NO_x), entre outros, que podem variar dependendo de atividades humanas e processos naturais, que iremos abordar mais à frente, com grande influência na transformação do meio ambiente.

Reações fotoquímicas na atmosfera

As reações fotoquímicas que ocorrem na atmosfera são transformações químicas iniciadas pela absorção de luz solar, geralmente na gama do ultravioleta (UV), e desempenham um papel fundamental na vida do planeta, influenciando a composição do ar e o clima.

As reações fotoquímicas são transformações químicas desencadeadas pela luz. Na atmosfera, estas reações acontecem por ação da luz solar.

Uma das reações fotoquímicas mais importantes que ocorrem na atmosfera são as responsáveis pela formação e destruição do ozono estratosférico. O ozono estratosférico, a que se atribui a designação de *camada de ozono*, retém cerca de 90% da radiação ultravioleta incidente na Terra, atuando como um filtro natural das radiações ultravioleta mais energéticas (UV-B e UV-C), impedindo que estas atinjam a superfície terrestre. As reações fotoquímicas que aí se desencadeiam são responsáveis pela destruição e formação do ozono.



Fig. 7 Camadas da atmosfera terrestre.

e Manual Digital

Vídeos
Moléculas na troposfera terrestre

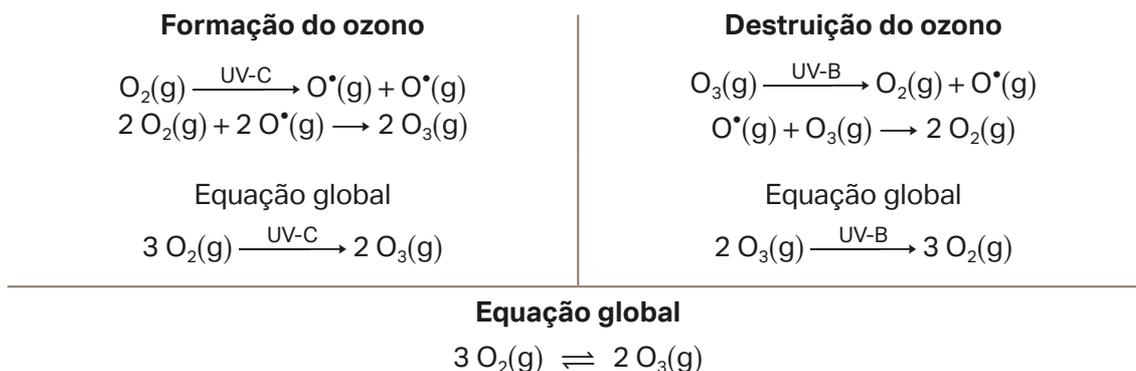


Reações fotoquímicas na atmosfera



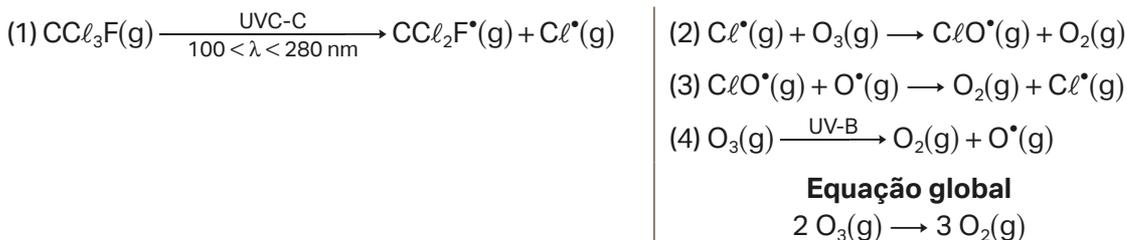
Ciclo natural do ozono

Na ausência de substâncias destruidoras do ozono, a concentração deste gás manteve-se constante durante várias décadas.



Atuação dos CFC (clorofluorcarbonetos) na destruição do ozono

A destruição do ozono é potenciada pela presença de radicais livres provenientes da fotodissociação dos CFC, que atingem a estratosfera (1). O radical cloro, ao reagir com o ozono, dá origem ao radical livre ClO^* (2). O radical livre ClO^* reage com o radical livre oxigénio (3), proveniente de outras reações na atmosfera (4), libertando, novamente, o radical cloro, que fica disponível para intervir na reação em cadeia de destruição do ozono.

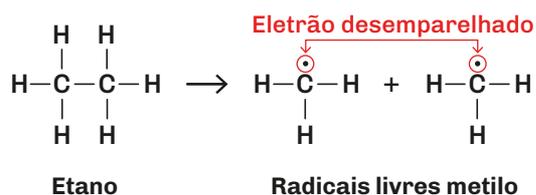


Radicais livres e os seus efeitos

Abordámos já o efeito de alguns radicais livres na atmosfera, representados simbolicamente por X^* . Mas o que são e como se caracterizam os radicais livres?

Em Química, designavam-se por *radicais* grupos de átomos existentes em moléculas, como, por exemplo, o radical metilo, CH_3 que pode existir “desligado” das moléculas, designando-se, por isso, *radical livre*.

Por exemplo, se a ligação covalente C–C no etano partir, obtêm-se dois radicais livres metilo, em que os dois eletrões da ligação covalente ficam associados a cada átomo de carbono, isto é, ficam com um eletrão desemparelhado:



Os **radicais livres** (ou simplesmente radicais) são espécies químicas (átomos, moléculas ou iões) com eletrões desemparelhados.

Por esta razão, os radicais são, de um modo geral, muito reativos. Representam-se simbolicamente por X^\bullet .

Espécie química	Estrutura de Lewis	Justificação
Átomo de H	H^\bullet	Tem um eletrão desemparelhado \rightarrow radical H^\bullet
Átomo de O	$:\ddot{O}^\bullet$	Tem dois eletrões desemparelhados \rightarrow dirradical O^\bullet
Monóxido de cloro (ClO)	$:\ddot{Cl}-\ddot{O}^\bullet$	Tem um eletrão desemparelhado \rightarrow radical ClO^\bullet
Monóxido de nitrogénio (NO)	$:\dot{N}=\ddot{O}^\bullet$	Tem um eletrão desemparelhado \rightarrow radical NO^\bullet

Quadro 13 Exemplos de radicais livres.

O átomo de oxigénio, de configuração eletrónica $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$, é considerado dirradical por apresentar 2 eletrões desemparelhados em orbitais p .

Os radicais livres intervêm, como já vimos, em reações na atmosfera, particularmente na formação e decomposição do ozono estratosférico. Estas substâncias participam também em reações de polimerização (indústria) e em sistemas biológicos. Na biologia e na medicina são especialmente importantes os radicais de oxigénio, como o superóxido, $O_2^{\bullet-}$ (ião-radical), causadores do stresse oxidativo, resultante de excesso de radicais livres no organismo.



Fig. 8 Envelhecimento provocado pela ação dos radicais livres.

Embora a presença de radicais livres no organismo seja benéfica para o combate a vírus e bactérias nocivos, o seu excesso leva à lesão das células, provocando o envelhecimento e o surgimento de múltiplas doenças.

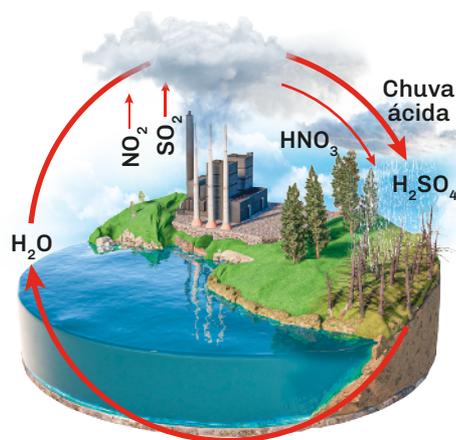
Poluição atmosférica

Já estudámos que a troposfera terrestre, em certas zonas, é constituída por gases poluentes emitidos por fontes naturais e antropogénicas, provocando a **poluição atmosférica**.

Já estudámos também que os principais poluentes atmosféricos são CO e CO₂ em excesso, NO e NO₂, SO₂ e SO₃, CH₄ e CFC, O₃ e N₂O; os que contribuem para o aumento do **efeito de estufa** emitidos por fontes antropogénicas são: CO₂, CH₄, CFC, O₃ e N₂O. Vamos abordar agora mais dois efeitos importantes da poluição atmosférica: as **chuvas ácidas** e a formação do **nevoeiro fotoquímico**.

Chuvas ácidas

Em zonas com intensa atividade vulcânica, incêndios florestais, atividade industrial, produção energética e/ou tráfego rodoviário, verifica-se que o pH da chuva é inferior a 5,6, podendo chegar a valores próximos de 2,0. Neste caso, a chuva é designada por **chuva ácida**. Os principais gases que provocam a chuva ácida, além do dióxido de carbono, CO₂, são os óxidos de enxofre, SO₂ e SO₃, e de nitrogénio, NO₂. Vejamos algumas transformações que esses gases sofrem para produzir ácidos na atmosfera:



Reação do SO ₂ e SO ₃ com a água da chuva	Reação do NO ₂ com a água da chuva
$\text{SO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3(\text{aq})$ <p style="text-align: center;">Ácido sulfuroso</p>	$2 \text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{HNO}_2(\text{aq}) + \text{HNO}_3(\text{aq})$ <p style="text-align: center;">Ácido nitroso Ácido nítrico</p>
$\text{H}_2\text{SO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{HSO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	$\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{NO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$
$\text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ <p style="text-align: center;">Ácido sulfúrico</p>	$\text{HNO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{NO}_4^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ <p style="text-align: center;">Ácido peroxinitrico</p>
$\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{HSO}_4^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	

Quadro 14 Reações dos poluentes SO₂, SO₃ e NO₂ com a água da chuva.

Nevoeiro fotoquímico

Também conhecido por *smog* fotoquímico, este tipo de poluição fotoquímica ocorre quando poluentes primários (emitidos diretamente para atmosfera), como óxidos de nitrogénio, NO_x, e compostos orgânicos voláteis, reagem sob a influência da luz solar, especialmente da UV, originando um conjunto de poluentes secundários (1), sendo o mais importante o ozono troposférico, O₃, também designado por *ozono mau* (2).

As reações responsáveis pela formação do O₃ troposférico são:



Vídeos
Poluição
atmosférica



Formação e
consequências
da chuva ácida



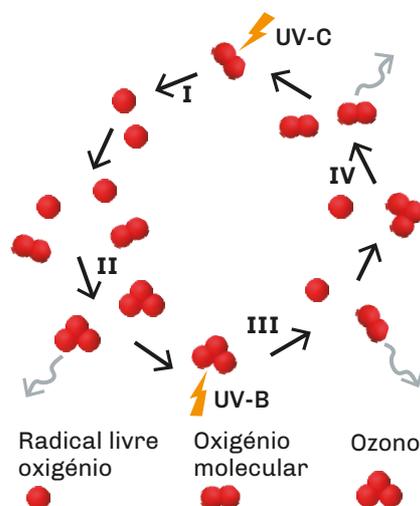
O ozono troposférico apresenta malefícios ao nível do sistema respiratório, provocando irritação das mucosas e inflamação das vias respiratórias, que se torna aguda para níveis elevados de concentração, causando tosse, irritação da garganta e desconforto na respiração. A nível ambiental, o ozono troposférico é tóxico para plantas, podendo comprometer colheitas, florestas e outros ecossistemas naturais e interfere na fotossíntese, reduzindo a produtividade agrícola e afetando a biodiversidade. Todos estes impactes agravam-se com o aumento da concentração de ozono no ar e com o tempo de exposição.



Fig. 9 Complicações na saúde provocadas pelo poluente ozono troposférico.

Exercício resolvido

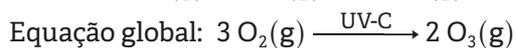
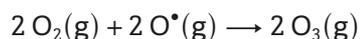
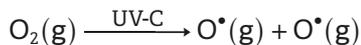
- 12** O diagrama ao lado ilustra o ciclo do ozono na estratosfera, vital para proteger a Terra da radiação UV.
- 12.1** Escreve as reações químicas representadas por I, II, III e IV relativas ao ciclo natural de formação e destruição da camada de ozono e prova que a reação global é $3 \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{O}_3(\text{g})$.
- 12.2** A reação química traduzida por II é responsável pela síntese do *ozono bom*, mas também pela síntese do *ozono mau*. Justifica esta afirmação.



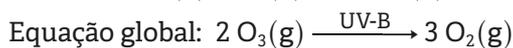
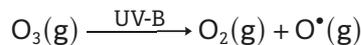
Resolução:

- 12.1.** A radiações que atingem a estratosfera são capazes de dissociar as moléculas de ozono. Outras reações ocorrem nessa camada da atmosfera, que levam à formação de ozono, as quais constituem o ciclo natural da formação e destruição da camada de ozono, traduzidas pelas equações químicas:

Formação do ozono:

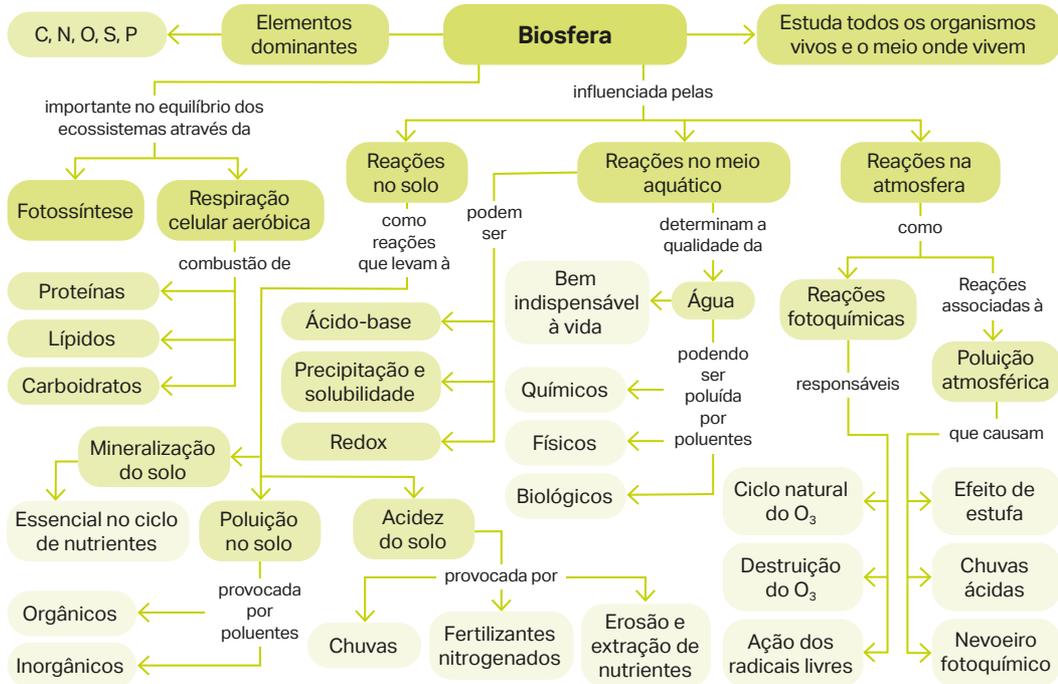


Destruição do ozono:



- 12.2.** O ozono existente na estratosfera é responsável pela filtração da radiação UV-B e UV-C, bastante nociva à vida na Terra, por isso é designado por *ozono bom*. Por outro lado, o ozono troposférico é considerado poluente atmosférico, uma vez que pode causar malefícios consideráveis, nomeadamente na saúde humana e nos ecossistemas, por isso é designado por *ozono mau*.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **biosfera** estuda todos os organismos vivos e é um fator importante da dinâmica química da Terra, estando interligada com a **litosfera**, **hidrosfera** e **atmosfera**.
- A **respiração celular aeróbica** e a **fotossíntese** são processos complementares.
- A combustão de carboidratos (ou hidrocarbonetos), proteínas e lípidos fornece a energia necessária aos processos biológicos vitais.
- Consoante a composição, o solo é constituído pelas fases sólida, líquida e gasosa.
- A **mineralização do solo** é o processo biológico no qual a matéria orgânica é decomposta por microrganismos, originando a libertação no solo de nutrientes inorgânicos.
- A poluição química do solo resulta de fatores como: libertação de metais pesados, nutrientes em excesso, uso de pesticidas e lançamento de outros poluentes inorgânicos.
- A **acidez do solo** pode ser causada por precipitação intensa, chuvas ácidas, uso excessivo de fertilizantes nitrogenados e a erosão e extração de nutrientes.
- Existem três classes de poluentes em meio aquático: químicos, biológicos e físicos.
- A atmosfera terrestre é maioritariamente constituída por dinitrogénio e dióxigénio.
- As reações fotoquímicas são transformações químicas desencadeadas pela luz.
- Os **radicais livres** (X^{*}) têm eletrões desemparelhados, logo, são muito reativos.
- Os principais poluentes atmosféricos são CO, CO₂, NO, NO₂, SO₂, SO₃, CH₄, CFC, O₃ e N₂O.
- O aumento do efeito de estufa, a chuva ácida e o *smog* fotoquímico são consequências nocivas da poluição atmosférica.

Exercícios de aplicação

- 1** Classifica as afirmações seguintes relativas à Química na biosfera em verdadeiras (V) ou falsas (F).
- (A) A biosfera abrange todas as regiões do planeta onde há vida, incluindo o solo, a água, o ar e os organismos que habitam nesses ambientes.
- (B) A fotossíntese é um processo pelo qual as plantas, as algas e algumas bactérias convertem luz solar em energia química, produzindo dióxigênio.
- (C) A respiração celular, que ocorre em todos os organismos vivos, é o processo em que o dióxigênio é utilizado para “queima de alimentos”, produzindo energia necessária para as atividades realizadas pelos seres vivos.
- (D) A decomposição de matéria orgânica por microrganismos é o processo que consiste na libertação de nutrientes de volta ao solo e à atmosfera, essenciais para o crescimento de novas plantas.
- (E) De todos os alimentos consumidos pelos seres vivos, apenas os que contêm carboidratos conseguem produzir energia.
- 2** Os fertilizantes nitrogenados são amplamente usados para aumentar a produtividade agrícola, mas podem causar problemas ambientais. Explica como o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados é uma ameaça à saúde.
- 3** As seguintes reações químicas acontecem na água do mar. Estabelece a correta correspondência entre as letras e os números das duas colunas.

Reação química	Categoria de reação química
I. $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$	A. Ácido-base
II. $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{CaCO}_3(\text{s})$	B. Oxidação-redução
III. $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2 \text{C}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}(\text{aq}) + 2 \text{CO}_2(\text{aq})$	C. Precipitação e solubilidade

- 4** Completa corretamente as frases seguintes, relativas a reações fotoquímicas na atmosfera:
- (A) As reações fotoquímicas ocorrem por ação da⁽¹⁾.....
- (B) Os⁽²⁾..... livres são espécies químicas muito reativas por possuírem eletrões⁽³⁾.....
- (C) O ozono⁽⁴⁾....., que constitui a “camada de ozono”, atua como um⁽⁵⁾..... gasoso que permite a passagem das radiações solares menos energéticas, mas⁽⁶⁾..... as radiações UV-B e UV-C.
- (D) A libertação de CFC para a atmosfera provoca a diminuição da espessura da⁽⁷⁾.....
- (E) O ozono⁽⁸⁾....., designado por ozono⁽⁹⁾....., é um⁽¹⁰⁾..... atmosférico.

Tabela de energias de ligação

Ligação	Energia/kJ mol ⁻¹	Ligação	Energia/kJ mol ⁻¹	Ligação	Energia/kJ mol ⁻¹
H-H	436	C-Br	281	C-C	347
H-F	568	C-I	241	C=C	614
H-Cl	432	N-N	413	C≡C	833
H-Br	366	N-H	391	C-O	354
H-I	299	N-Cl	193	C=O (CO ₂)	804
C-H	413	Cl-Cl	244	O=O	497
C-F	434	Br-Br	193	O-H	464
C-Cl	327	I-I	151	N≡N	945

Material de laboratório



Picnômetro de sólidos



Picnômetro de líquidos



Pipeta de Pasteur



Gobelé ou copo



Balão de Erlenmeyer ou matraz



Pipeta conta-gotas



Proveta



Balão volumétrico



Garrafa de esguicho



Espátulas



Vidro de relógio



Balança de precisão



Balança analítica



Lamparina de álcool



Cápsula de porcelana



Colher de combustão



Pipeta graduada



Pipeta volumétrica



Bureta

Teste diagnóstico

página 4

- 1.1. (a) 12; (b) 6; (c) 6; (d) 12; (e) 13; (f) 6; (g) 7; (h) 11; (i) 11; (j) 11.
 1.2. Os átomos representados por X e Y são o mesmo elemento químico, pois têm o mesmo número atômico. O átomo do elemento Z tem número atômico diferente, logo é a outro elemento químico. Assim, estão representados átomos de dois elementos químicos.
 2.1. A água é constituída por pequenos corpúsculos em constante movimento, entre os quais existem espaços vazios ocupados pelos corpúsculos do corante.
 2.2. Quanto maior for a temperatura, maior será a agitação entre os corpúsculos da água e do corante e mais rapidamente os corpúsculos do corante ocuparão os espaços vazios aí existentes.
 3. (a) 2 – 7; (b) 7; (c) 2 – 8; (d) 8; (e) 2 – 8 – 8 – 2; (f) 2

página 5

4. Verdadeiras: (C) e (E); falsas: (A), (B), (D) e (F).

5.1. (D)

5.2. Ligação metálica.

6.

Substância	n/mol	m/g	M/g mol ⁻¹	N.º de moléculas (N)
H ₂	2,00	4,04	2,02	1,20 × 10 ²⁴
CO ₂	5,0	2,2 × 10 ²	44,01	3,0 × 10 ²⁴
NH ₃	0,500	8,52	17,04	3,01 × 10 ²⁴

TEMA 1

página 17

1.1. declive = $\frac{27,0 \text{ g}}{1,50 \text{ mol}} = 18,0 \text{ g mol}^{-1}$

O declive representa a massa molar da substância.

1.2. (C)

1.3. 9,0 g

2. 1 – 20 g; 2 – 17%.

- 3.1. 76 km = 76 × 10³ m = 7,6 × 10⁴ m;

384 403 km = 384 403 × 10³ m = 3,844 03 × 10⁸ m

- 3.2. OG = 10⁵ m; OG = 10⁸ m

- 4.1. $\bar{m} = 24,34 \text{ g}$. O valor mais preciso é 24,33 g.

- 4.2. Cálculo dos desvios (δ):

$\delta_1 = 24,31 - 24,34 = -0,03 \text{ g} \rightarrow$ Leitura por defeito
 \rightarrow Módulo: 0,03 g

$\delta_2 = 24,33 - 24,34 = -0,01 \text{ g} \rightarrow$ Leitura por defeito
 \rightarrow Módulo: 0,01 g

$\delta_3 = 24,38 - 24,34 = +0,04 \text{ g} \rightarrow$ Leitura por excesso
 \rightarrow Módulo: 0,04 g

O desvio máximo é 0,04 g. A incerteza de leitura da balança é $\pm 0,01 \text{ g}$. Assim, a incerteza absoluta (I_a) do conjunto das medidas é $\pm 0,04 \text{ g}$.

$I_r = \frac{I_a}{\bar{m}} \times 100\% = \frac{0,04}{24,34} \times 100\% = 0,2\%$

TEMA 2

página 28

1. 1 – neutra; 2 – prótons; 3 – núcleo; 4 – massa; 5 – elétrons; 6 – nuvem; 7 – número atômico; 8 – número atômico; 9 – número de massa; 10 – número de massa; 11 – isótopos.

2.1. (B)

2.2. (D)

- 3.1. X e Z são isótopos.

- 3.2. Átomo X: 8 prótons; 8 neutrões; 8 elétrons.

página 34

1. 1 – orbital; 2 – maior; 3 – mais; 4 – nível; 5 – tamanho; 6 – maior; 7 – subnível; 8 – esférica; 9 – lobular; 10 – complexas; 11 – degeneradas; 12 – energia.

- 2.1. Subníveis: 1s; 2s; 2p.

- 2.2. Nível 1 – subnível 1s; nível 2 – subníveis 2s e 2p.

- 2.3. Subnível mais próximo do núcleo: 1s. Subnível mais afastado do núcleo: 2p.

2.4. (C)

2.5. I – 1s; II – 2p.

página 41

1. 1 – configuração; 2 – níveis; 3 – orbitais; 4 – Princípio da Exclusão de Pauli; 5 – Princípio da Energia Mínima; 6 – Regra de Hund; 7 – spin.

2.

Elemento	Configuração eletrônica	N.º de níveis	N.º de subníveis	N.º de orbitais
₂ He	1s ²	1	1	1
₁₀ Ne	1s ² 2s ² 2p ⁶	2	3	5
₁₈ Ar	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶	3	5	9
₂₀ Ar	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 4s ²	4	6	10

3.1. (III)

3.2. (I)

3.3. (IV)

3.4. (II)

página 50

1. 1 – órbitas; 2 – energia; 3 – níveis de energia; 4 – maior; 5 – absorção; 6 – desexcitação; 7 – absorção; 8 – negras; 9 – contínuo; 10 – emissão; 11 – desexcitação; 12 – coloridas; 13 – negro.

- 2.1. É um espectro de emissão descontínuo, porque tem riscas coloridas sobre um fundo negro.

2.2. (C)

3.1. (B)

- 3.2. Espectros descontínuos de emissão.

- 3.3. Teste de chama.

página 55

1. 1 – monocromáticas; 2 – violeta; 3 – eletromagnético; 4 – invisíveis; 5 – frequência; 6 – onda; 7 – $E = hf$;
 $8 - f = \frac{c}{\lambda}$.

2.1. $f = 4,28 \times 10^{14} \text{ Hz}$

2.2. $E = 4,97 \times 10^{-19} \text{ J}$

2.3. (C)

2.4. (C)

página 65

1. 1 – fusão; 2 – energia; 3 – fissão; 4 – neutrões; 5 – instáveis; 6 – radiação; 7 – alfa; 8 – beta; 9 – gama; 10 – radiação; 11 – instáveis.

2.1. (D)

2.2. (A)

2.3. (D)

página 77

1. 1 – propriedades; 2 – 118; 3 – crescente; 4 – número atômico; 5 – elétrons de valência; 6 – níveis de energia; 7 – s, p, d e f; 8 – orbital.

2. (A) E; (B) C; (C) G ou B; (D) I; (E) E e D; (F) G e B; (G) A; (H) D ou F; (I) E, D, F e H; (J) I, C G e B.

- 3.1. (A) 3.2. Ca – 1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p⁶ 4s² 3.3. Bloco s.

Física e Química

Componente de Física

10.º ano

10



Ministério
da Educação

Este livro foi aprovado pelo Ministério da Educação
para utilização obrigatória nas escolas



Manual Digital na app
EV Smart Book e em
www.escolavirtual.cv



Física e Química

Componente de Física

10.º ano



Manual Revisto

O presente manual foi revisto e validado pela Universidade de Cabo Verde.

Explora o teu manual digital



<https://escolavirtual.cv>

Acesso e condições de utilização em
www.escolavirtual.cv



Ministério
da Educação

Podes também aceder ao teu livro através da **app EV Smart Book**



Componente de Física

Teste diagnóstico	3
--------------------------	---

1

Movimento retilíneo e circular 6

1.1. Movimento unidimensional	10
1.2. Movimento retilíneo uniformemente variado	28
1.3. Movimento circular uniforme	55

2

Interações e seus efeitos sobre os movimentos 70

2.1. Aplicações das Leis de Newton	72
------------------------------------	----

3

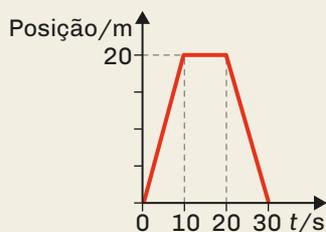
Energia e movimento 102

3.1. Noções básicas sobre energia e sua importância	106
3.2. Trabalho realizado por forças	117
3.3. Teorema do trabalho e energia cinética	131
3.4. Teorema do trabalho e energia potencial	136
3.5. Forças conservativas e não conservativas. Conservação da energia mecânica	140

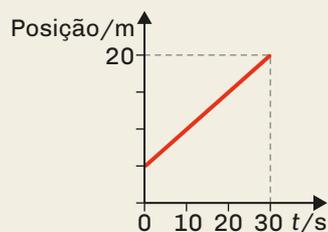
Soluções	145
-----------------	-----

Teste diagnóstico

- 1 Durante um intervalo de tempo em que o velocímetro do carro marca 90 km/h, poder-se-á afirmar que...
- (A) o condutor está em repouso em relação à Terra e ao Sol.
 - (B) o condutor está em repouso em relação ao Sol.
 - (C) o condutor está em repouso em relação ao Sol e em movimento em relação à Terra.
 - (D) a Terra está em movimento em relação ao condutor.
- 2 Os gráficos seguintes traduzem a posição de dois carros, A e B, em função do tempo.

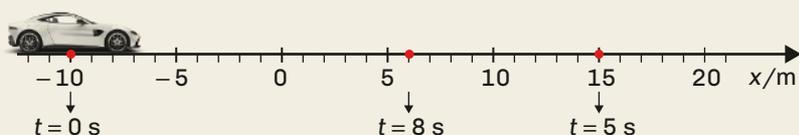


Carro A



Carro B

- 2.1. Algum dos carros esteve em repouso? Justifica.
- 2.2. Qual dos carros voltou ao local de partida? Justifica.
- 2.3. Qual foi a distância total percorrida pelo carro B?
- 3 Um carro descreve um movimento retilíneo, no plano horizontal, com inversão de sentido no instante $t = 5$ s, tal como mostra a figura.

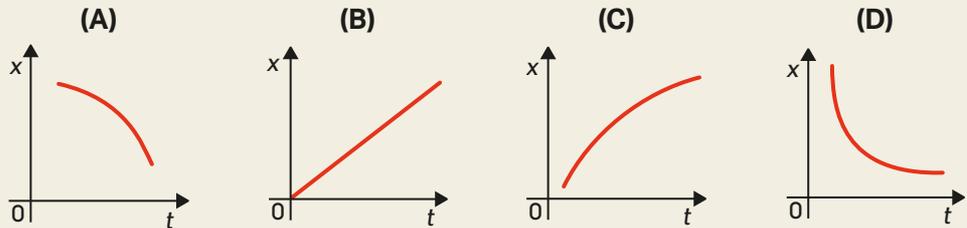


- 3.1. Em que instante o carro passou na posição $x = 6$ m, após inverter o sentido?
- 3.2. Indica a posição do carro no início do seu movimento.
- 3.3. Em que sentido se deslocou o carro no intervalo de tempo $[5; 8]$ s?
- 3.4. Qual foi a distância percorrida pelo carro nos intervalos de tempo $[0; 5]$ s e $[0; 8]$ s?

Teste diagnóstico

- 4 Os esboços de gráfico posição-tempo seguintes referem-se a movimentos retilíneos segundo a direção do eixo dos xx .

Qual é o esboço de gráfico que corresponde a um movimento acelerado?



- 5 Uma bola é lançada verticalmente para cima, de uma posição a 1,5 m do solo. No instante $t = 0,6$ s, a bola atinge a altura máxima de 3,3 m, chegando ao solo no instante $t = 1,4$ s.

A rapidez média da bola, considerando todo o percurso, é...

- (A) $2,8 \text{ m s}^{-1}$ (B) $2,1 \text{ m s}^{-1}$ (C) $3,6 \text{ m s}^{-1}$ (D) $1,3 \text{ m s}^{-1}$

- 6 Um carrinho move-se, com velocidade de módulo constante, numa pista circular de raio 3,0 m, demorando 90 s a dar uma volta completa.

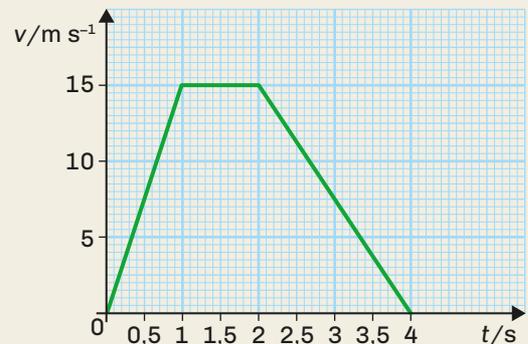
A distância percorrida pelo carrinho em 2,0 min de movimento é...

- (A) 23,3 m (B) 25,1 m (C) 17,4 m (D) 20,9 m

- 7 O gráfico velocidade-tempo da figura diz respeito a um movimento retilíneo de um corpo segundo a direção do eixo dos xx .

Seleciona a opção correta.

- (A) O corpo inverteu o sentido do movimento no instante $t = 2$ s.
(B) No intervalo de tempo $[2; 4]$ s, o corpo deslocou-se no sentido negativo da trajetória.
(C) O corpo deslocou-se sempre no sentido positivo da trajetória.
(D) No intervalo de tempo $[1; 2]$ s, o corpo esteve parado.



8 Um rapaz empurra, com velocidade constante, um bloco de massa 200 g, ao longo de um plano inclinado.

8.1. Em qual dos esquemas seguintes está representada a força, \vec{F} , que o bloco exerce no plano inclinado?



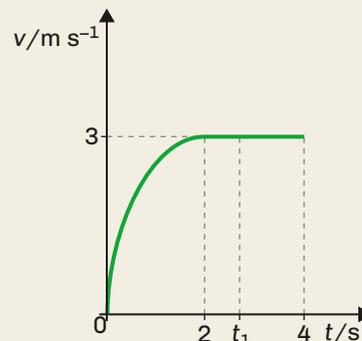
8.2. Das afirmações seguintes, seleciona a opção correta.

- (A) A intensidade da resultante das forças aplicadas no bloco é constante e diferente de zero.
- (B) A aceleração do bloco é constante e diferente de zero.
- (C) A força gravítica que a Terra exerce no bloco é igual à força que o plano inclinado também exerce no bloco.
- (D) A intensidade da resultante das forças aplicadas no bloco é zero.

9 Para fazer parar, em 5 s, um corpo de massa 0,5 kg, que se desloca em linha reta com velocidade de 10 m s^{-1} , é aplicada uma força na direção do movimento.

Calcula a intensidade dessa força.

10 O gráfico velocidade-tempo seguinte diz respeito ao movimento de uma gota de água, de massa 0,003 g, em queda vertical, em função do tempo de queda, t .



10.1. Indica o intervalo de tempo em que a resultante das forças aplicadas na gota de água tem o sentido da velocidade.

10.2. Compara, justificando, a intensidade do peso da gota de água com a intensidade da resistência do ar, nos intervalos de tempo $[0; 2] \text{ s}$ e $[2; 4] \text{ s}$.

FIM

Item	1.	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4	4.	5.	6.	7.	8.1	8.2	9.	10.1	10.2	Total
Cotação (valores)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	2,0	20



Movimento retilíneo e circular

1.1. Movimento unidimensional

1.2. Movimento retilíneo uniformemente variado

1.3. Movimento circular uniforme

Subtema 1.1

Movimento unidimensional

- Caracterizar o movimento retilíneo quanto à sua trajetória e ao seu deslocamento.
- Explicar o conceito de movimento unidimensional.

Subtema 1.2

Movimento retilíneo uniformemente variado

- Caracterizar o movimento retilíneo uniformemente variável, referindo às leis horárias e respetivas representações gráficas.
- Distinguir movimento uniformemente acelerado de movimento uniformemente retardado.
- Conhecer e aplicar a equação de Torricelli no movimento retilíneo uniformemente variado (facultativo).
- Diferenciar, em situações de travagens de viaturas, o tempo de reação do tempo de travagem.
- Calcular distâncias de reação, de travagem e de segurança, através da interpretação de gráficos velocidade-tempo relacionados com situações concretas de circulação de veículos.

- Referir a queda livre dos graves / movimento ascensional dos graves, no vácuo, como sendo casos específicos de movimentos retilíneos uniformemente variados e aplicar as já referidas leis no cálculo de tempos (de queda, de subida, de tempo de voo), altura máxima e velocidades.

Subtema 1.3

Movimento circular uniforme

- Caracterizar o movimento circular uniforme.
- Referir as leis angulares horárias (velocidade angular e posição angular) no movimento circular uniforme.
- Indicar o significado físico da velocidade angular no movimento circular uniforme e respetiva unidade SI.
- Definir o período e frequência no movimento circular uniforme.
- Referir a aceleração centrípeta.
- Relacionar grandezas lineares com angulares no movimento circular uniforme.

1

Movimento retilíneo e circular

Ponto de partida

- Neste tema são introduzidos os conceitos –
– chave inerentes ao estudo dos sistemas
cinemáticos.
- A Física gera conhecimentos fundamentais
necessários para os futuros avanços
tecnológicos e melhora nossa qualidade
de vida, fornecendo o conhecimento básico
necessário para o desenvolvimento de novos
instrumentos e técnicas.
- Nestas páginas vais encontrar alguns
exemplos dos contextos deste tema...



... nos
movimentos
verticais, como
na queda de
um coco...



... ou nas
tradicionais
corridas de cavalos,
que constituem uma
tradição cultural em
várias ilhas do
arquipélago...



... nos
movimentos em
trajetórias retilíneas,
crucial para projetar
estradas seguras
e eficientes...



... nos movimentos,
no plano horizontal,
de veículos de transporte
terrestre, que se pretendem
cada vez mais eficientes
e confortáveis...



... ou, ainda,
no lançamento
de foguetes, como
na celebração
da independência
no dia 5 de julho...



... no estudo do
movimento circular
uniforme, como é o caso,
por aproximação, do
movimento dos planetas
à volta do Sol...

... e muito mais, nas
páginas que se seguem.

1 Movimento retilíneo e circular

Manual Digital

Vídeo
Movimento,
repouso e
trajetória



1.1. Movimento unidimensional

Repouso e movimento

Falamos em **movimento** quando a posição de um corpo varia, no decorrer do tempo, em relação a um **referencial**. Observa a **figura 1**:



Fig. 1 Ciclista numa estrada retilínea.

Dependendo do referencial escolhido:

- o **conjunto ciclista + bicicleta** está **em movimento em relação à casa** (referencial), pois, no decorrer do tempo, a sua **posição varia** em relação ao referencial considerado (casa).
- o **ciclista** está **em repouso em relação às partes fixas da bicicleta** como, por exemplo, o selim (referencial), pois, no decorrer do tempo, a sua **posição não varia** relativamente ao referencial considerado (selim).

Um **corpo** pode estar em **repouso** relativamente a um referencial e, ao mesmo tempo, em **movimento** relativamente a outro referencial.

Os conceitos de **repouso** e de **movimento** são, pois, **relativos**, uma vez que **dependem do referencial escolhido**.

Conceito de movimento unidimensional

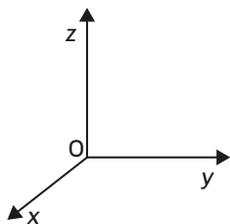


Fig. 2 Referencial cartesiano tridimensional.

Se uma partícula (ou o centro de massa de um corpo) **se mover no espaço a três dimensões**, o referencial que habitualmente se toma para descrever o movimento é o **referencial cartesiano tridimensional** constituído por **três eixos** perpendiculares entre si: eixo dos xx , eixo dos yy e eixo dos zz , que se intersectam num ponto O , chamado origem do referencial. Os eixos, perpendiculares entre si, têm sentido, como se pode ver na **figura 2**.

Se uma partícula (ou o centro de massa de um corpo) **se mover num plano** $[XOY]$ ou $[XOZ]$ ou $[YOZ]$, é suficiente a utilização de **dois eixos** (referencial cartesiano bidimensional) para identificar a posição da partícula no referencial.

Se uma partícula (ou o centro de massa de um corpo) se mover em linha reta, é suficiente um eixo (uma coordenada) para identificar a posição da partícula, no referencial. Na figura 3, podemos ver as sucessivas posições que um atleta vai ocupando ao longo do tempo à medida que se afasta, em linha reta, de um poste de iluminação que se tomou como origem do referencial unidimensional segundo o eixo dos xx ; a posição do atleta fica definida apenas pela coordenada x .

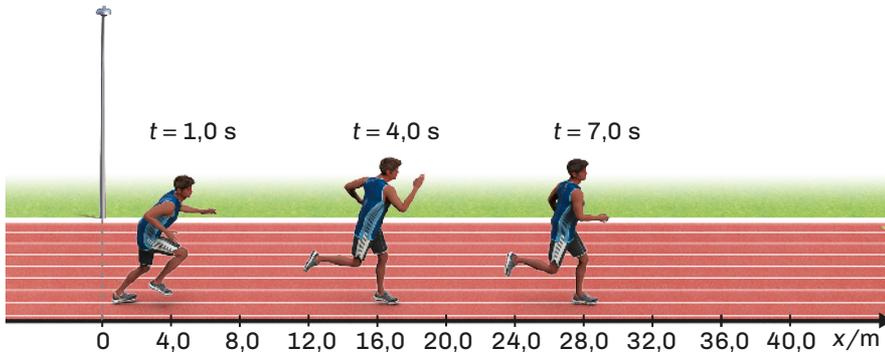


Fig. 3 Posições ocupadas por um atleta, ao longo do tempo, relativamente a um poste de iluminação (referencial).

Neste caso, o atleta descreve um **movimento retilíneo, movimento unidimensional, segundo a direção do eixo dos xx , afastando-se da origem do referencial**, pois:

- no instante $t = 1,0$ s, o atleta encontra-se na **posição** $x = 4,0$ m;
- no instante $t = 4,0$ s, o atleta encontra-se na **posição** $x = 16,0$ m;
- no instante $t = 7,0$ s, o atleta encontra-se na **posição** $x = 28,0$ m.

Num **movimento retilíneo**, a **posição** de uma partícula é dada por uma única coordenada no **referencial unidimensional** com a direção do movimento.

Distância percorrida e deslocamento

Uma **partícula em movimento**, relativamente a um referencial, descreve uma **trajetória**, ou seja, uma linha imaginária definida pelas sucessivas posições ocupadas pela partícula no seu movimento. A **forma da trajetória** depende do referencial escolhido. De acordo com a forma da trajetória, os **movimentos** podem ser **retilíneos** ou **curvilíneos**.



A **distância percorrida sobre a trajetória**, simbolizada pela letra **s**, é o comprimento da trajetória descrita pela partícula no seu movimento (Fig. 4). É uma **grandeza escalar**, sempre positiva.



Fig. 4 Distância percorrida sobre a trajetória e deslocamento.

A grandeza física que indica a variação de posição chama-se **deslocamento**.

Independentemente da trajetória, o **deslocamento** é uma **grandeza vetorial**, simbolizada pelo vetor $\Delta\vec{r}$, com origem na posição inicial e extremidade na posição final (Fig. 4). A **unidade de distância percorrida sobre a trajetória e de deslocamento**, no Sistema Internacional de Unidades, SI, é o metro, m.

Num **movimento retilíneo na direção do eixo dos xx**, o **deslocamento**, $\Delta\vec{r}$, pode ser representado por $\Delta\vec{x}$,

O **deslocamento escalar**, Δx , também designado por **componente escalar do deslocamento**, é igual à diferença entre a posição final, x_{final} , e a posição inicial, x_{inicial} :

$$\Delta x = x_{\text{final}} - x_{\text{inicial}}$$

ou

$$\Delta x = x_f - x_i$$

Repara que, enquanto a **distância percorrida sobre a trajetória** é sempre positiva, o **deslocamento escalar** pode ser **positivo, negativo ou nulo**:

- o **deslocamento escalar** é **positivo**, $\Delta x > 0$, quando a partícula se desloca no **sentido positivo** do eixo dos xx;
- o **deslocamento escalar** é **negativo**, $\Delta x < 0$, quando a partícula se desloca no **sentido negativo** do eixo dos xx;
- o **deslocamento escalar** é **nulo**, $\Delta x = 0$, quando a **posição final** é igual à **posição inicial**. Isto só pode acontecer num movimento retilíneo com inversão de sentido.

Num movimento retilíneo

Sem inversão de sentido do movimento, a **distância percorrida** sobre a trajetória é igual ao **módulo da componente escalar do deslocamento**:

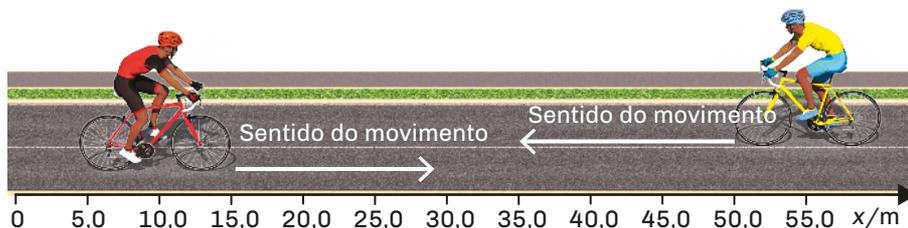
$$s = |\Delta x| \quad \text{ou} \quad s = |x_f - x_i|$$

Com inversão de sentido do movimento, a **distância percorrida** sobre a trajetória é igual à **soma dos módulos das componentes escalares dos deslocamentos em cada um dos sentidos**:

$$s = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots$$

Exercícios resolvidos

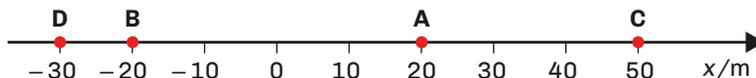
- 1 Na figura, dois ciclistas deslocam-se numa estrada, em linha reta, mas em sentidos opostos.



- 1.1 Determina o deslocamento escalar de cada um dos ciclistas entre $x = 5,0$ m e $x = 30,0$ m.
- 1.2 Compara o módulo do deslocamento escalar dos dois ciclistas, entre as posições referidas em 1.1.
- 1.3 Qual é a distância percorrida, sobre a trajetória, por cada um dos ciclistas?

Resolução:

- 1.1. O deslocamento escalar é dado pela expressão: $\Delta x = x_f - x_i$
 Substituindo pelos valores, tem-se:
 – para o ciclista com camisola vermelha (à esquerda): $\Delta x = 30,0 - 5,0 \Leftrightarrow \Delta x = 25,0$ m
 – para o ciclista com camisola amarela (à direita): $\Delta x = 5,0 - 30,0 \Leftrightarrow \Delta x = -25,0$ m
- 1.2. O módulo do deslocamento escalar dos dois ciclistas é igual a 25,0 m.
- 1.3. Como os dois ciclistas descrevem movimentos retilíneos sem inversão de sentido, a distância percorrida sobre a trajetória é igual ao módulo da componente escalar do deslocamento. Logo, a distância percorrida por cada um dos ciclistas é $s = 25,0$ m.
- 2 Uma partícula executa um movimento retilíneo segundo a direção do eixo dos xx , ocupando as posições A, B, C, D, assinaladas na figura, sucessivamente, em diferentes instantes.



- 2.1 Indica as posições em que a partícula inverte o sentido do movimento.
- 2.2 Determina a distância percorrida pela partícula sobre a trajetória.

Resolução:

- 2.1. A partícula inverte o sentido do movimento nas posições B e C, respetivamente, $x_B = -20$ m e $x_C = 50$ m.
- 2.2. Sendo $s = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| + |\Delta x_3|$, tem-se, substituindo pelos valores:
 $s = |-20 - (20)| + |50 - (-20)| + |-30 - 50| \Leftrightarrow s = 40 + 70 + 80 \Leftrightarrow s = 190$ m

Gráficos posição-tempo

Um **gráfico posição-tempo**, $x = f(t)$, indica, em cada instante, a posição em que se encontra a partícula no seu movimento. Num sistema de dois eixos perpendiculares entre si, marcam-se as **posições** ocupadas pela partícula, no **eixo vertical**, e os **instantes** correspondentes, no **eixo horizontal**, obtendo-se um gráfico posição-tempo como, por exemplo, o da **figura 5**.

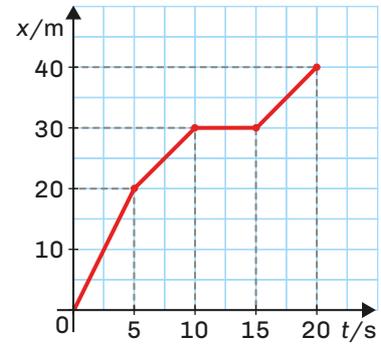


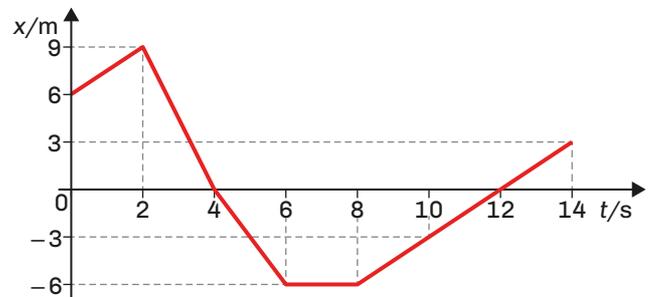
Fig. 5 Exemplo de um gráfico posição-tempo de um movimento retilíneo.

A análise de um gráfico posição-tempo permite saber, por exemplo:

- a posição da partícula, num determinado instante;
- o instante em que a partícula se encontra numa dada posição;
- a distância percorrida pela partícula em diferentes intervalos de tempo;
- se a partícula se afasta ou aproxima da origem do referencial;
- se a partícula se move no sentido positivo ou negativo, ou se está em repouso;
- o deslocamento escalar em diferente intervalos de tempo.

Exercício resolvido

3 Considera o gráfico posição-tempo, $x = f(t)$, que diz respeito ao movimento retilíneo de uma partícula segundo a direção do eixo dos xx .



- 3.1** Indica a posição da partícula nos instantes $t = 0$ s, $t = 4$ s e $t = 10$ s.
- 3.2** Em que intervalo(s) de tempo a partícula se desloca no sentido positivo do eixo dos xx ?
- 3.3** Em que instantes a partícula passa pela origem do referencial?
- 3.4** Em que posições a partícula inverte o sentido do movimento?
- 3.5** Calcula:
- 3.5.1.** o deslocamento escalar da partícula no intervalo de tempo $[0; 4]$ s;
 - 3.5.2.** a distância percorrida sobre a trajetória, no intervalo de tempo $[0; 4]$ s;
 - 3.5.3.** o deslocamento escalar da partícula no intervalo de tempo $[0; 14]$ s;
 - 3.5.4.** a distância percorrida sobre a trajetória, no intervalo de tempo $[0; 14]$ s.

Resolução:

- 3.1.** Por análise do gráfico, verifica-se que as posições da partícula nos instantes referidos são: $x_0 = 6 \text{ m}$; $x_4 = 0 \text{ m}$; $x_{10} = -3 \text{ m}$
- 3.2.** A partícula desloca-se no sentido positivo do eixo dos xx nos intervalos de tempo em que $x_f > x_i$. Neste caso, por análise do gráfico, os intervalos de tempo são $[0; 2] \text{ s}$ e $[8; 14] \text{ s}$.
- 3.3.** A partícula passa pela origem do referencial, ponto de coordenada $x = 0 \text{ m}$, nos instantes $t = 4 \text{ s}$ e $t = 12 \text{ s}$.
- 3.4.** A partícula inverte o sentido do movimento, de positivo para negativo, na posição $x = 9 \text{ m}$ e, de negativo para positivo, na posição $x = -6 \text{ m}$.
- 3.5.1.** O deslocamento escalar é dado pela expressão: $\Delta x = x_f - x_i$
Como, no intervalo de tempo $[0; 4] \text{ s}$, é $x_i = 6 \text{ m}$ e $x_f = 0 \text{ m}$, tem-se, substituindo pelos valores: $\Delta x = 0 - 6 \Leftrightarrow \Delta x = -6 \text{ m}$
- 3.5.2.** A distância percorrida sobre a trajetória, no intervalo de tempo $[0; 4] \text{ s}$, o comprimento do percurso efetuado pela partícula, nesse intervalo de tempo.
Como, neste intervalo de tempo, a partícula inverteu o sentido do movimento na posição $x = 9 \text{ m}$, temos de calcular, com base no gráfico, a distância percorrida sobre a trajetória no intervalo de tempo $[0; 2] \text{ s}$ e no intervalo de tempo $[2; 4] \text{ s}$. Assim, tem-se:
 $[0; 2] \text{ s} \rightarrow s = 3 \text{ m}$; $[2; 4] \text{ s} \rightarrow s = 9 \text{ m}$
Logo, no intervalo de tempo $[0; 4] \text{ s}$, a distância percorrida sobre a trajetória é:
 $s = 3 + 9 \Leftrightarrow s = 12 \text{ m}$
- 3.5.3.** Como, no intervalo de tempo $[0; 14] \text{ s}$, é $x_i = 6 \text{ m}$ e $x_f = 3 \text{ m}$, tem-se, substituindo pelos valores: $\Delta x = 3 - 6 \Leftrightarrow \Delta x = -3 \text{ m}$
- 3.5.4.** Como, no intervalo de tempo $[0; 14] \text{ s}$, a partícula inverteu o sentido do movimento nas posições $x = 9 \text{ m}$ e $x = -6 \text{ m}$, podemos calcular, com base no gráfico, a distância percorrida nos intervalos de tempo $[0; 2] \text{ s}$, $[2; 4] \text{ s}$, $[4; 6] \text{ s}$, $[8; 12] \text{ s}$ e $[12; 14] \text{ s}$ e depois somar essas distâncias percorridas. Assim, tem-se:
 $[0; 2] \text{ s} \rightarrow s = 3 \text{ m}$; $[2; 4] \text{ s} \rightarrow s = 9 \text{ m}$; $[4; 6] \text{ s} \rightarrow s = 6 \text{ m}$;
 $[8; 12] \text{ s} \rightarrow s = 6 \text{ m}$; $[12; 14] \text{ s} \rightarrow s = 3 \text{ m}$
Logo, no intervalo de tempo $[0; 14] \text{ s}$, a distância percorrida sobre a trajetória é:
 $s = 3 + 9 + 6 + 6 + 3 \Leftrightarrow s = 27 \text{ m}$

Repara:

- Um **gráfico posição-tempo**, $x = f(t)$, é um gráfico que indica, ao longo do tempo, as sucessivas posições ocupadas por uma partícula no seu movimento.
- A **trajetória** de uma partícula é a linha definida pelas sucessivas posições ocupadas pela partícula no seu movimento.

Gráfico posição-tempo
de um movimento

≠

Trajetória
do movimento

Rapidez média e velocidade média

Rapidez média

Para saber se um movimento é muito ou pouco rápido, calcula-se a **rapidez média**, r_m , dividindo a **distância percorrida**, s , pelo **intervalo de tempo**, Δt , gasto a percorrer essa distância.

A **unidade SI** de **rapidez média** é o **metro por segundo**, m/s ou $m s^{-1}$.

$$m s^{-1} \dots \dots \dots r_m = \frac{s}{\Delta t} \dots \dots \dots m$$

..... s

A **rapidez média**, r_m , é uma **grandeza física escalar** que está relacionada com a distância percorrida, num dado intervalo de tempo.

Exemplo

Dizer que a **rapidez média** de um automóvel é 70 km h^{-1} significa que ele percorre, em média, a distância de 70 km , numa hora. O valor 70 km h^{-1} é um **valor médio**; o automóvel não percorre exatamente 70 km em cada hora de movimento. O automóvel tem de parar nos sinais de STOP, abrandar o seu movimento junto a passadeiras e cruzamentos, etc. Contudo, a rapidez do seu movimento foi, em média, de 70 km h^{-1} .



Fig. 6 A rapidez média do automóvel depende da distância percorrida no intervalo de tempo considerado.

Velocidade média

A **velocidade média**, \vec{v}_m , é uma **grandeza física vetorial** que informa sobre a rapidez com que um corpo muda de posição, num dado intervalo de tempo.

A **unidade SI** de **velocidade** é o **metro por segundo**, m/s ou $m s^{-1}$.

$$m s^{-1} \dots \dots \dots \vec{v}_m = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \dots \dots \dots m$$

..... s

A **velocidade média**, \vec{v}_m , é uma grandeza física vetorial que se calcula dividindo o **deslocamento**, $\Delta \vec{r}$, pelo **intervalo de tempo**, Δt , correspondente.

Rapidez média

≠

Velocidade média

No caso de um movimento retilíneo (**Fig. 7**) segundo a direção do eixo dos xx , o **deslocamento**, $\Delta \vec{r}$, pode ser representado, como já vimos, por $\Delta \vec{x}$ e o **deslocamento escalar** por Δx .

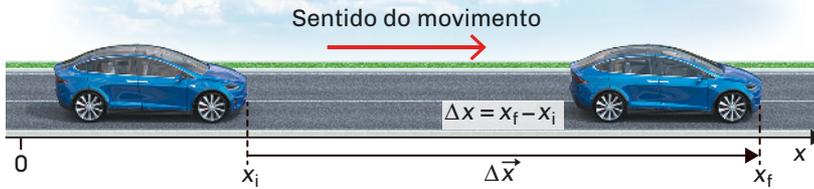


Fig. 7 Deslocamento, $\Delta\vec{x}$, e deslocamento escalar, Δx , num movimento retilíneo.

Então, a **velocidade escalar média**, v_m , também designada por **componente escalar da velocidade média**, pode ser calculada pela expressão:

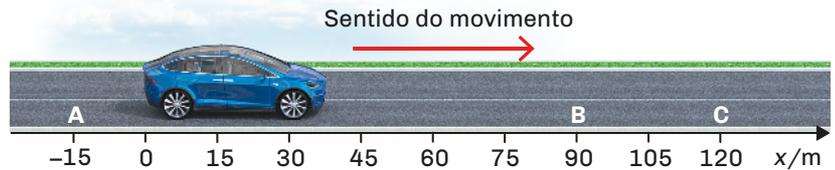
$$v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

A **velocidade escalar média** pode ser:

- **positiva**, $v_m > 0$, quando o **deslocamento escalar** é **positivo** ($\Delta x > 0$), o que se verifica quando a partícula se desloca no **sentido positivo** do eixo dos xx .
- **negativa**, $v_m < 0$, quando o **deslocamento escalar** é **negativo** ($\Delta x < 0$), o que se verifica quando a partícula se desloca no **sentido negativo** do eixo dos xx .
- **nula**, $v_m = 0$, quando o **deslocamento escalar** é **nulo** ($\Delta x = 0$).

Exercício resolvido

- 4 Considera que o automóvel, que se desloca em linha reta, demora 4,0 s a ir da posição $x_A = -15$ m para a posição $x_B = 90$ m, 2,0 s a ir da posição x_B para a posição $x_C = 120$ m e 5,0 s a ir da posição x_C para a posição x_A .



- 4.1 Calcula a componente escalar da velocidade média, do movimento do automóvel da posição A para a posição B ($x_A \rightarrow x_B$) e da posição B para a posição C ($x_B \rightarrow x_C$).
- 4.2 Que relação há entre a componente escalar da velocidade média e a rapidez média entre essas posições?
- 4.3 Calcula a componente escalar da velocidade média, do movimento do automóvel da posição A até novamente à posição A ($x_A \rightarrow x_C \rightarrow x_A$).
- 4.4 Comenta a afirmação:
 "O automóvel deslocou-se da posição A para a posição C e novamente para a posição A, mas a sua velocidade média foi nula, apesar de ter existido movimento."

Resolução:

- 4.1.** A componente escalar da velocidade média é dada por: $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$. Substituindo pelos valores, tem-se:
 Da posição A para a posição B ($x_A \rightarrow x_B$): $v_m = \frac{105}{4,0} \Leftrightarrow v_m = 26 \text{ m s}^{-1}$
 Da posição B para a posição C ($x_B \rightarrow x_C$): $v_m = \frac{30}{2,0} \Leftrightarrow v_m = 15 \text{ m s}^{-1}$
- 4.2.** A componente escalar da velocidade média é igual à rapidez média entre essas posições, pois o movimento é retilíneo, no sentido positivo do eixo dos xx e sem inversão de sentido.
- 4.3.** A componente escalar da velocidade média do automóvel desde a posição A até novamente à posição A ($x_A \rightarrow x_C \rightarrow x_A$) é zero, pois, sendo $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ e, neste caso, $\Delta x = 0$ (a posição final coincide com a posição inicial), tem-se $v_m = 0 \text{ m s}^{-1}$.
- 4.4.** A velocidade média foi nula, apesar de ter existido movimento, pois o deslocamento foi nulo, uma vez que a posição final coincide com a posição inicial. O facto de a velocidade média ser nula não significa que não tenha existido movimento.

Gráficos posição-tempo e componente escalar da velocidade média

Também é possível, através de um **gráfico posição-tempo, determinar a componente escalar da velocidade média.**

Consideremos o exemplo da **figura 8**. Por análise do gráfico, verificamos que a partícula se desloca no sentido positivo do eixo dos xx , entre as posições x_0 e x_2 .

No instante t_2 , atinge a posição x_2 , que corresponde ao seu afastamento máximo (relativamente à origem do referencial), onde inverte o sentido do movimento.

Após esse instante, passa a deslocar-se no sentido negativo do eixo dos xx até atingir a posição x_3 , no instante t_3 .

Sendo $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, a **componente escalar da velocidade média**, para os **intervalos de tempo** $[t_1; t_2]$ e $[t_2; t_3]$ será, respetivamente: $v_m = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$ e $v_m = \frac{x_3 - x_2}{t_3 - t_2}$.

Os **valores** assim obtidos são, como se pode ver no gráfico, **iguais aos declives das retas que passam pelos pontos P_1 e P_2 (reta 1) e pelos pontos P_2 e P_3 (reta 2)**, respetivamente.

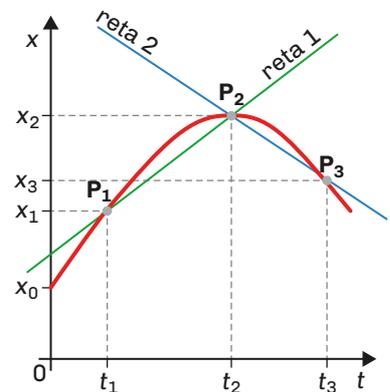


Fig. 8 Declive das retas 1 e 2 e componentes escalares da velocidade média, nos intervalos de tempo $[t_1; t_2]$ e $[t_2; t_3]$.

A **componente escalar da velocidade média**, v_m , de um movimento retilíneo, pode ser determinada a partir de um **gráfico posição-tempo**, $x = f(t)$, pelo **declive da reta** que passa pelos pontos (t, x) nos instantes considerados.

Gráficos posição-tempo e componente escalar da velocidade num dado instante

Consideremos o gráfico posição-tempo, $x = f(t)$, da **figura 9**.

A **componente escalar da velocidade média**, entre os instantes t_A e t_C , é dada pelo declive da reta (secante) que passa pelos pontos A e C.

À medida que se consideram intervalos de tempo mais pequenos, aproximando-se de zero, a reta secante, cujo declive é igual à componente escalar da velocidade média, passa a ser tangente à curva no ponto A.

No instante t_A , o **declive da reta tangente à curva** no ponto A (t_A, x_A) é **igual à componente escalar da velocidade nesse instante**.

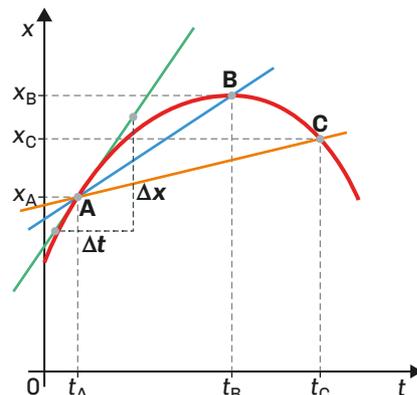


Fig. 9 Gráfico posição-tempo e componente escalar da velocidade.

A **componente escalar da velocidade num dado instante** é, num gráfico posição-tempo, igual ao declive da reta tangente à curva nesse instante.

Velocidade (ou velocidade instantânea)

A **velocidade**, \vec{v} , é uma **grandeza vetorial** que tem a **direção da tangente à trajetória**, em cada ponto, e tem sempre o **sentido do movimento**. Na **figura 10** podes ver a **representação do vetor velocidade em diferentes posições da trajetória retilínea** de um automóvel, que se desloca da esquerda para a direita.



Fig. 10 Num movimento retilíneo, \vec{v} tem a direção da trajetória e o sentido do movimento.

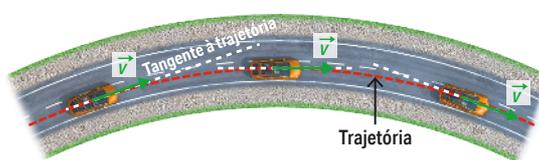


Fig. 11 Num movimento curvilíneo, \vec{v} é tangente à trajetória em cada ponto e tem o sentido do movimento.

Na **figura 11**, podes ver a **representação do vetor velocidade em diferentes posições da trajetória curvilínea** de um automóvel, que se desloca da esquerda para a direita.

Num movimento retilíneo, a **velocidade**, \vec{v} , tem direção constante, embora o seu módulo possa variar.

Num movimento curvilíneo, a **velocidade**, \vec{v} , não é constante, pois a sua direção muda de instante para instante.

Gráficos velocidade-tempo

Um **gráfico velocidade-tempo**, $v = f(t)$, indica como varia, ao longo do tempo, a componente escalar da velocidade, v .

Considera, por exemplo, o gráfico velocidade-tempo, representado na **figura 12**, que diz respeito a um movimento retilíneo.

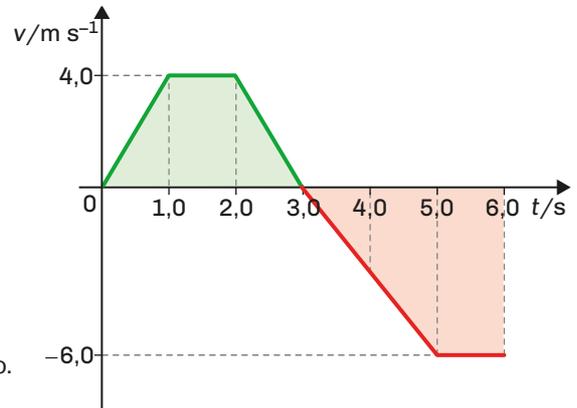


Fig. 12 Gráfico velocidade-tempo.

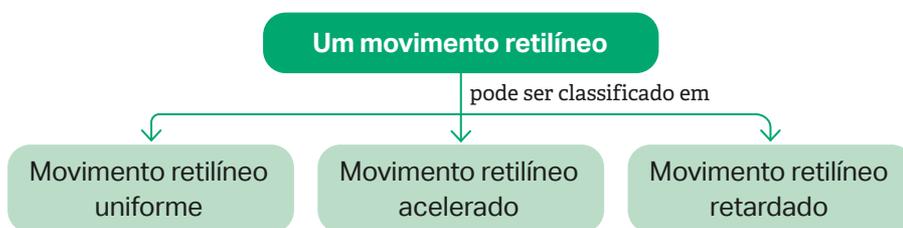
A análise de um gráfico velocidade-tempo permite determinar:

- a componente escalar da velocidade em cada instante;
- os intervalos de tempo em que o movimento se deu no sentido positivo ou negativo e o(s) instante(s) em que houve inversão do sentido do movimento;
- a componente escalar do deslocamento, entre dois instantes, a partir da área delimitada pela curva do gráfico e o eixo dos tempos, atribuindo-se sinal positivo ou negativo, conforme o sentido do movimento, nesse intervalo de tempo;
- a distância percorrida sobre a trajetória, que é igual à soma dos módulos dos deslocamentos parciais, isto é: $s = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots$

Relativamente ao gráfico da **figura 12**, podes verificar que:

- no intervalo de tempo $[0; 3,0]$ s, o movimento deu-se no sentido positivo, pois é $v > 0$, e, no intervalo de tempo $[3,0; 6,0]$ s, o movimento deu-se no sentido negativo, pois é $v < 0$;
- houve inversão do sentido do movimento no instante $t = 3,0$ s ($v = 0$ m s⁻¹);
- a componente escalar do deslocamento no sentido positivo, Δx_1 , é dada pela área do trapézio de bases 3,0 e 1,0 e altura 4,0: $\Delta x_1 = \frac{3,0 + 1,0}{2} \times 4,0 \Leftrightarrow \Delta x_1 = 8,0$ m;
- a componente escalar do deslocamento no sentido negativo, Δx_2 , é dada pela área do trapézio de bases 3,0 e 1,0 e altura 6,0, com sinal negativo, uma vez que a componente escalar da velocidade é negativa: $\Delta x_1 = \frac{3,0 + 1,0}{2} \times (-6,0) \Leftrightarrow \Delta x_1 = -12,0$ m;
- a componente escalar do deslocamento nos 6,0 s de movimento é igual à soma das componentes escalares dos deslocamentos, nos dois sentidos do movimento: $\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 \Rightarrow \Delta x = 8,0 + (-12,0) \Leftrightarrow \Delta x = -4,0$ m;
- a distância percorrida sobre a trajetória, nos 6,0 s de movimento, é: $s = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| \Rightarrow s = 8,0 + 12,0 \Leftrightarrow s = 20,0$ m.

Movimentos retilíneos



Vídeo
Movimento retilíneo uniforme



• Movimento retilíneo uniforme

No caso do movimento do automóvel da **figura 13**, a **velocidade**, \vec{v} , grandeza vetorial, mantém-se **constante** (em módulo, direção e sentido) durante o movimento, pelo que o automóvel percorre distâncias iguais em intervalos de tempo iguais. Este **movimento** chama-se **retilíneo uniforme**.



Fig. 13 Movimento retilíneo uniforme.

• Movimento retilíneo acelerado

No caso do movimento do automóvel da **figura 14**, a direção e o sentido permanecem inalterados mas o **módulo da componente escalar da velocidade aumenta** ao longo do tempo, pelo que o automóvel percorre distâncias cada vez maiores em intervalos de tempo iguais. Este **movimento** chama-se **retilíneo acelerado**.



Fig. 14 Movimento retilíneo acelerado.

• Movimento retilíneo retardado

No caso do movimento do automóvel da **figura 15**, a direção e o sentido permanecem inalterados mas o **módulo da componente escalar da velocidade diminui** ao longo do tempo, pelo que o automóvel percorre distâncias cada vez menores em intervalos de tempo iguais. Este **movimento** chama-se **retilíneo retardado**.

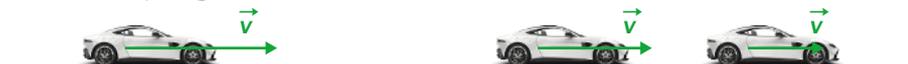


Fig. 15 Movimento retilíneo retardado.

Movimento retilíneo uniforme

Como num **movimento retilíneo uniforme**, a **velocidade**, \vec{v} , é **constante**, então:

$$v = v_m \implies v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \iff v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Se o início da contagem dos tempos for $t_1 = 0$, tem-se: $v = \frac{x - x_0}{t - 0} \iff x = x_0 + v t$

Num **movimento retilíneo uniforme**, a **velocidade**, \vec{v} é **constante**, e a equação das posições ou **lei do movimento** é: $x = x_0 + v t$

Como são os gráficos posição-tempo e velocidade-tempo de um movimento retilíneo uniforme?

Observa a **tabela 1**. Nela estão registadas as posições e o valor da velocidade de um aluno, em diferentes instantes do seu movimento retilíneo uniforme, para a escola.

A partir dos valores registados na tabela, podemos construir os **gráficos posição-tempo e velocidade-tempo** correspondentes a este movimento (**Fig. 16**).

Tempo, t/s	Posição, x/m	Velocidade, $v/m\ s^{-1}$
0	0	1,5
20	30	1,5
40	60	1,5
60	90	1,5
80	120	1,5

Tabela 1 Posição e velocidade de um aluno.

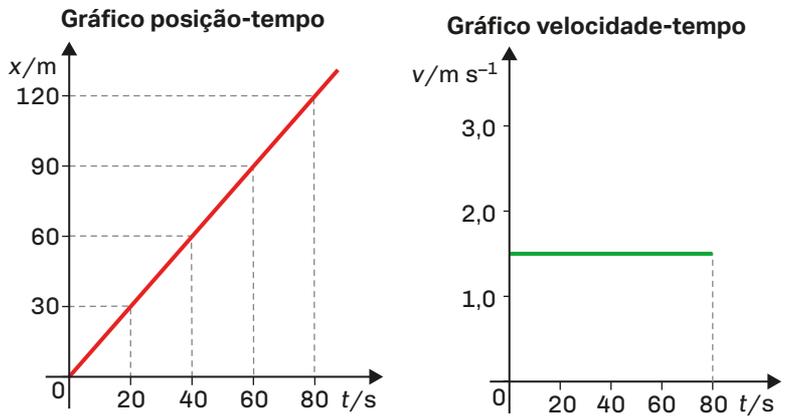


Fig. 16 Gráficos posição-tempo e velocidade-tempo de um movimento retilíneo uniforme.

Exercício resolvido

- 5 O Pedro caminha em linha reta ao longo de uma avenida. O tempo começa a contar quando inicia o movimento junto a um candeeiro. Sempre que o Pedro passa por um novo candeeiro, é registado o tempo com um cronómetro. Os candeeiros distam 40 m entre si.

Se o movimento do Pedro for retilíneo uniforme, em que instantes deve passar pelos candeeiros 2, 3, 4,

5? Completa a tabela com esses instantes e as posições correspondentes.

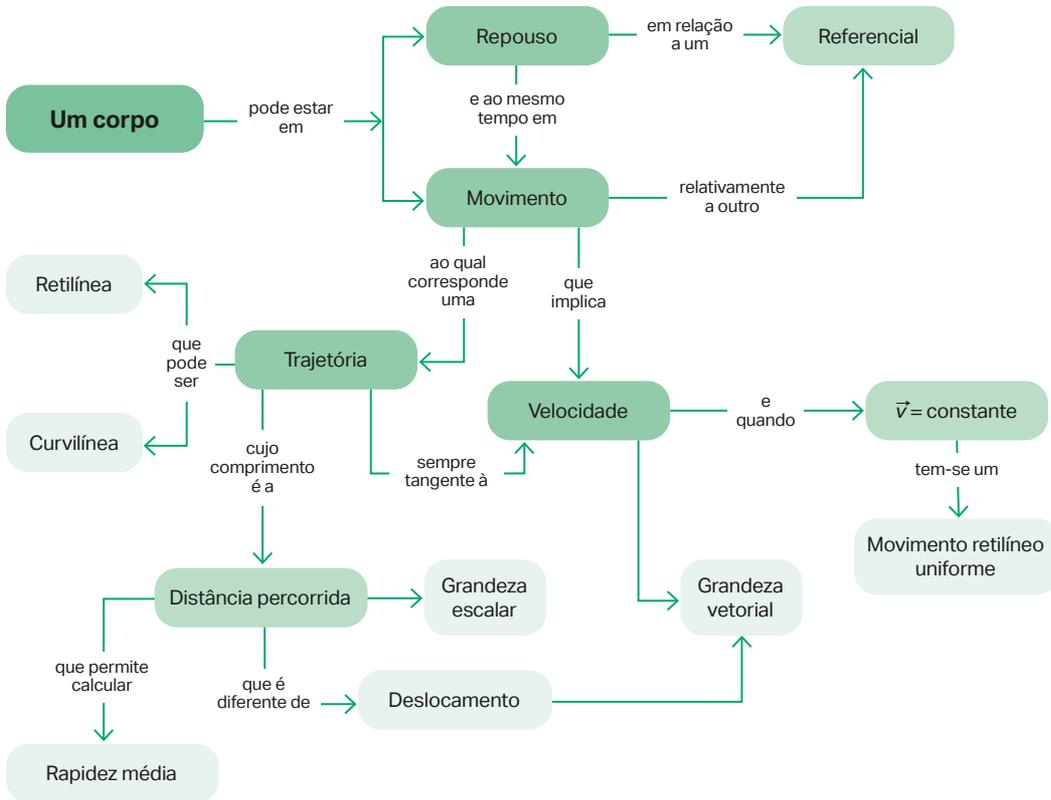
N.º do candeeiro	0	1	2	3	4	5
Tempo, t/s	0	10				
Posição, x/m	0					

Resolução:

5. Sendo o movimento retilíneo uniforme, o Pedro percorre distâncias iguais em intervalos de tempo iguais. Logo, os valores são os indicados na tabela.

N.º do candeeiro	0	1	2	3	4	5
Tempo, t/s	0	10	20	30	40	50
Posição, x/m	0	40	80	120	160	200

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- Um **corpo** pode estar em **repouso** relativamente a um referencial e, ao mesmo tempo, em **movimento** relativamente a outro referencial.
- Num **movimento retilíneo**, a **posição** de uma partícula é dada por uma única coordenada no **referencial unidimensional** com a direção do movimento.
- O **deslocamento escalar**, Δx , também designado por **componente escalar do deslocamento**, é igual à diferença entre a posição final, x_{final} , e a posição inicial, x_{inicial} :

$$\Delta x = x_{\text{final}} - x_{\text{inicial}} \quad \text{ou} \quad \Delta x = x_f - x_i$$

- Num **movimento retilíneo**:

– **Sem inversão de sentido** do movimento, a **distância percorrida** sobre a trajetória é **igual** ao **módulo da componente escalar do deslocamento**.

$$s = |\Delta x| \quad \text{ou} \quad s = |x_f - x_i|$$

- **Com inversão de sentido** do movimento, a **distância percorrida** sobre a trajetória é **igual à soma dos módulos das componentes escalares dos deslocamentos em cada um dos sentidos**.

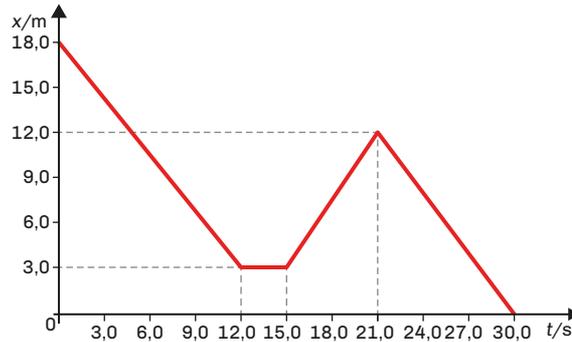
$$s = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots$$

- A **rapidez média**, r_m , é uma **grandeza física escalar** que está relacionada com a distância percorrida, num dado intervalo de tempo: $r_m = \frac{s}{\Delta t}$
- A **velocidade média**, \vec{v}_m , é uma grandeza física vetorial que se calcula dividindo o **deslocamento**, $\Delta \vec{r}$, pelo **intervalo de tempo**, Δt , correspondente: $\vec{v}_m = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$
- A **velocidade escalar média**, v_m , também designada por **componente escalar da velocidade média**, pode ser calculada pela expressão: $v_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
- A **componente escalar da velocidade média**, v_m , de um movimento retilíneo, pode ser determinada a partir de um **gráfico posição-tempo**, $x = f(t)$, pelo **declive da reta** que passa pelos pontos (t, x) , nos instantes considerados.
- A **componente escalar da velocidade num dado instante** é, num gráfico posição-tempo, igual ao declive da reta tangente à curva nesse instante.
- Um **movimento retilíneo** pode ser **uniforme, acelerado ou retardado**.
- **Num movimento retilíneo uniforme**, a **velocidade**, \vec{v} , é **constante**, e a equação das posições ou **lei do movimento** é: $x = x_0 + v t$

Exercícios de aplicação

- 1 Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações.
 - (A) Um corpo pode estar em movimento em relação a um referencial e, simultaneamente, em repouso em relação a outro referencial.
 - (B) Quando uma partícula se move num plano é suficiente uma coordenada para identificar a posição da partícula.
 - (C) Num movimento retilíneo com inversão de sentido, a distância percorrida sobre a trajetória é igual ao módulo do deslocamento entre as posições inicial e final.
 - (D) A velocidade média é uma grandeza vetorial sempre positiva que indica se um corpo percorre uma maior ou menor distância num dado intervalo de tempo.

- 2 Considera o gráfico posição-tempo, $x = f(t)$, que caracteriza o movimento retilíneo de um aluno (partícula) durante 30 s.



2.1. Indica o tipo de trajetória descrita pelo aluno no seu movimento.

2.2. Indica, a partir do gráfico:

2.2.1. as posições do aluno nos instantes $t = 0$ s e $t = 30,0$ s;

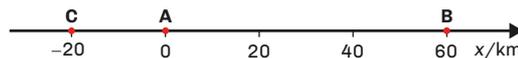
2.2.2. o(s) intervalo(s) de tempo em que o aluno se deslocou no sentido positivo;

2.2.3. o intervalo de tempo em que o aluno esteve parado;

2.2.4. o(s) instante(s) e a(s) posição(ões) do aluno quando inverteu o sentido do movimento.

2.3. Descreve o movimento do aluno a partir do gráfico posição-tempo.

- 3 Um automóvel desloca-se em linha reta numa estrada. Partiu da posição A, correspondente à origem do referencial, e que deslocou-se no sentido positivo do eixo dos xx , tendo atingido a posição B, a 60 km da origem, onde inverte o sentido do movimento. Continuando o movimento, passa de novo pela posição A, antes de atingir a posição C, a 20 km da origem, onde para.



3.1. Determina o deslocamento escalar nos percursos de:

3.1.1. A para B;

3.1.2. A para C (passando por B).

3.2. Caracteriza o vetor deslocamento, $\Delta\vec{x}$, no percurso de A para C (passando por B).

3.3. Determina a distância percorrida sobre a trajetória no seu movimento de A para C (passando por B).

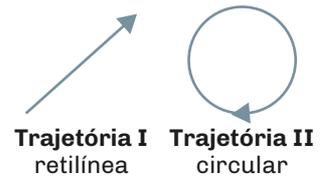
- 4** O Manuel e o Duarte saem ao mesmo tempo da escola, seguindo trajetórias retilíneas, perpendiculares entre si. A velocidade escalar média com que o Manuel caminha é $1,2 \text{ m s}^{-1}$ e a do Duarte é $0,9 \text{ m s}^{-1}$.

Determina a distância que os separa passados 10 s de movimento.

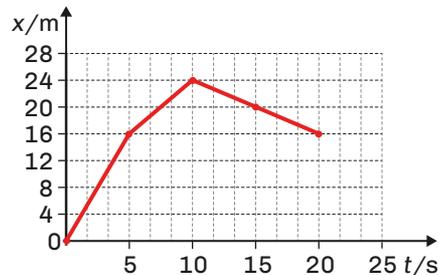
- 5** Um comboio move-se, com velocidade constante, em relação a um dado referencial.

Dadas as trajetórias I e II, pode considerar-se que, nestas condições, o movimento do comboio pode ser representado...

- (A) apenas pela trajetória I.
 (B) apenas pela trajetória II.
 (C) por ambas as trajetórias.
 (D) por nenhuma das trajetórias.



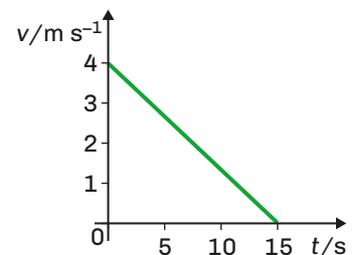
- 6** O gráfico seguinte diz respeito ao movimento de um ciclista, ao longo de uma estrada retilínea.



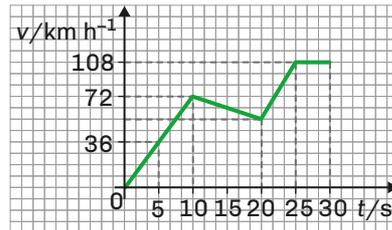
- 6.1.** O ciclista deslocou-se sempre no mesmo sentido? Justifica.
6.2. Em que instante(s) o ciclista se encontra na posição $x = 16 \text{ m}$?
6.3. Calcula a componente escalar da velocidade do ciclista, nos intervalos de tempo $[0; 5] \text{ s}$, $[5; 10] \text{ s}$ e $[10; 20] \text{ s}$.

- 7** O gráfico da figura mostra a componente escalar da velocidade de uma bola que se move na vertical.

- 7.1.** A bola está a subir ou a descer? Justifica.
7.2. Determina o afastamento máximo da bola relativamente ao ponto de partida.

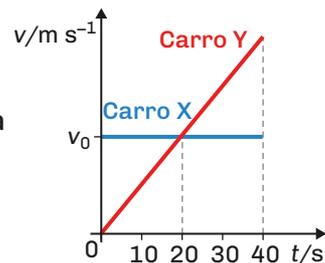


- 8** O gráfico velocidade-tempo da figura mostra como varia, ao longo do tempo, a componente escolar da velocidade de um comboio, num determinado percurso retilíneo.



- 8.1.** Indica, justificando, a partir do gráfico:
- 8.1.1.** o sentido do movimento, ao longo do tempo;
 - 8.1.2.** se o comboio inverteu o sentido do movimento;
 - 8.1.3.** se o comboio esteve parado em algum intervalo de tempo;
 - 8.1.4.** o(s) intervalo(s) de tempo em que o movimento é retardado.
- 8.2.** Indica, em unidades SI, o valor máximo da velocidade do comboio.
- 8.3.** Calcula, a partir do gráfico, a distância percorrida sobre a trajetória, nos primeiros 5 s de movimento.
- 8.4.** Calcula, a partir do gráfico, a distância percorrida, com movimento retilíneo uniforme.

- 9** No instante $t = 0$ s, o carro X, a deslocar-se com velocidade v_0 , passa pelo carro Y, que inicia o movimento nesse instante. Os dois carros deslocam-se em faixas paralelas na mesma estrada retilínea. O gráfico mostra como varia o valor da velocidade dos dois carros ao longo do tempo.



- 9.1.** No instante $t = 20$ s, é correto afirmar-se que...
- (A) o carro Y está atrás do carro X.
 - (B) o carro Y está a ultrapassar o carro X.
 - (C) o carro Y está à frente do carro X.
 - (D) o carro X está a acelerar mais do que o carro Y.
- 9.2.** No intervalo de tempo entre $t = 0$ s e $t = 40$ s, as áreas por baixo das retas são iguais. No instante $t = 40$ s, é correto afirmar-se que...
- (A) o carro Y está atrás do carro X;
 - (B) o carro Y segue ao lado do carro X;
 - (C) o carro Y está à frente do carro X;
 - (D) o carro X está a acelerar mais do que o carro Y.

1.2. Movimento retilíneo uniformemente variado

Aceleração média

Vimos que num **movimento retilíneo uniforme**, a **velocidade**, \vec{v} , é constante, que num **movimento retilíneo acelerado**, o módulo da componente escalar da velocidade aumenta, e que num **movimento retilíneo retardado**, o módulo da componente escalar da velocidade diminui.

A grandeza física associada à variação da velocidade, $\Delta\vec{v}$, do centro de massa de um corpo, num dado intervalo de tempo, é a **aceleração média**, \vec{a}_m .

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad \text{ou} \quad \vec{a}_m = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$$

A **aceleração média**, \vec{a}_m , é uma **grandeza física vetorial** que se calcula dividindo a variação da velocidade, $\Delta\vec{v}$, pelo intervalo de tempo correspondente, Δt .

No caso de um **movimento retilíneo**, a **aceleração média**, \vec{a}_m , e a **velocidade** têm a **mesma direção**. Daí se utilizar a **componente escalar da aceleração média**, a_m , na direção do movimento. Esta calcula-se dividindo a variação da componente escalar da velocidade, Δv , pelo intervalo de tempo, Δt , correspondente.

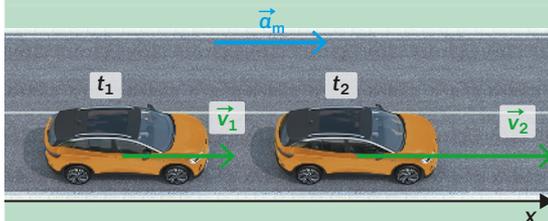
$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{ou} \quad a_m = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

A **componente escalar da aceleração média**, a_m , pode ser **positiva** ou **negativa**:

- **positiva** se o seu sentido for o convencionado como positivo para o movimento;
- **negativa** se o seu sentido for oposto ao convencionado como positivo para o movimento.

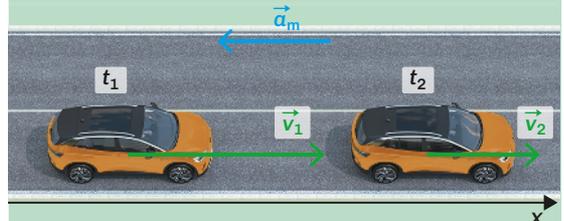
Num movimento retilíneo

Se a **componente escalar da aceleração média**, a_m , for **positiva**, $a_m > 0$, tal significa que $v_2 > v_1$ e o **movimento é acelerado**.



Movimento retilíneo acelerado, pois \vec{v} e \vec{a}_m têm a mesma direção e o mesmo sentido.

Se a **componente escalar da aceleração média**, a_m , for **negativa**, $a_m < 0$, tal significa que $v_2 < v_1$ e o **movimento é retardado**.



Movimento retilíneo retardado, pois \vec{v} e \vec{a}_m têm a mesma direção e sentidos opostos.

Num movimento curvilíneo, a **aceleração média**, \vec{a}_m , e a **velocidade**, \vec{v} , não têm a mesma direção. Mesmo que o módulo da velocidade não varie, a **direção da velocidade está sempre a mudar ao longo do movimento (Fig. 17)**. Logo, há sempre aceleração.

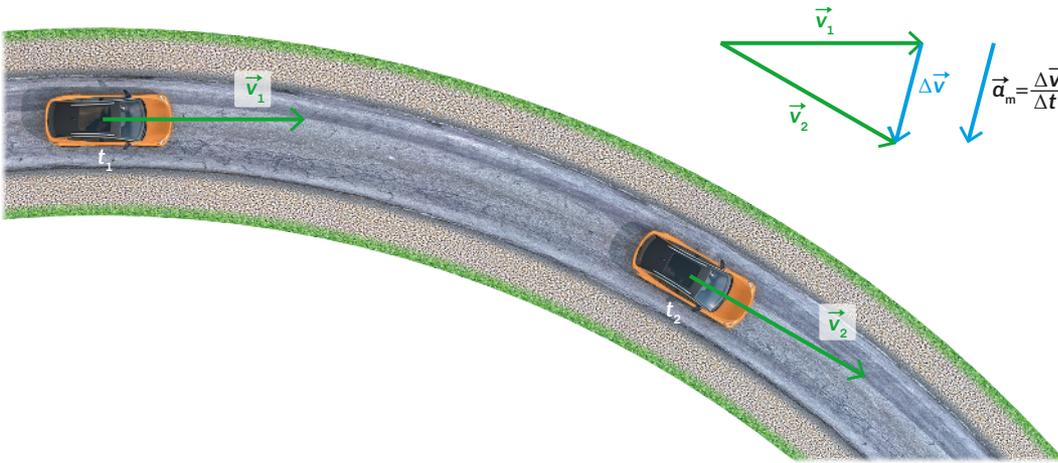


Fig. 17 Num movimento curvilíneo, a direção da velocidade, \vec{v} , muda de instante para instante.

Um **movimento retilíneo** pode ter aceleração nula, mas um **movimento curvilíneo** tem sempre aceleração.

Gráfico velocidade-tempo e componente escalar da aceleração média

Através de um **gráfico velocidade-tempo**, $v = f(t)$, é possível determinar a **componente escalar da aceleração média**, a_m , num movimento retilíneo (Fig. 18).

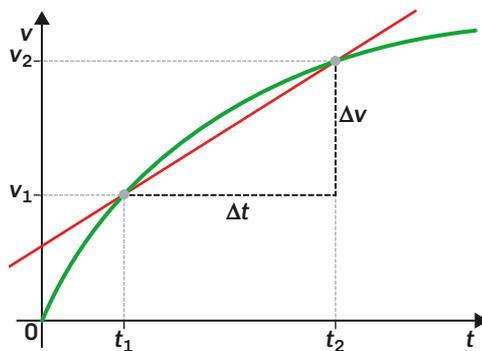


Fig. 18 Gráfico velocidade-tempo e componente escalar da aceleração média.

Sendo $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, pode determinar-se a_m , para um dado intervalo de tempo, substituindo na expressão anterior os valores das velocidades e os instantes correspondentes, obtidos por leitura direta no gráfico.

Por exemplo, para o intervalo de tempo $[t_1; t_2]$, a **componente escalar da aceleração média** é:

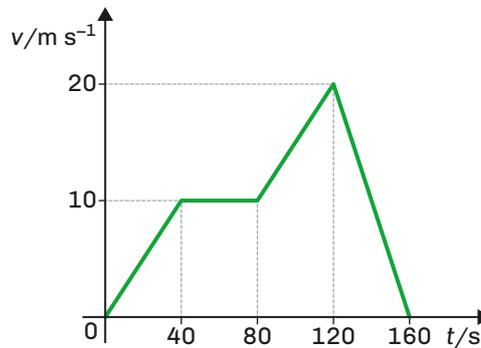
$$a_m = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

O valor assim obtido é, como se pode ver no esboço do gráfico, igual ao **declive da reta** que passa pelos pontos (t, v) , nos instantes considerados.

A **componente escalar da aceleração média**, a_m , num movimento retilíneo, pode ser determinada a partir de um gráfico velocidade tempo, $v = f(t)$, pelo declive da reta que passa pelos pontos (t, v) nos instantes considerados.

Exercícios resolvidos

- 6 O gráfico velocidade-tempo da figura diz respeito ao movimento de um automóvel, segundo uma trajetória retilínea, na direção do eixo dos xx .



- 6.1 Calcula o valor da componente escalar da aceleração média do automóvel nos intervalos de tempo: $[0; 40]$ s; $[40; 80]$ s; $[120; 160]$ s.
- 6.2 Em que intervalo(s) de tempo o movimento é acelerado? E retardado?

Resolução:

- 6.1. Sendo $a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, tem-se, substituindo pelos valores lidos no gráfico:

$$[0; 40] \text{ s} \rightarrow a_m = \frac{10 - 0}{40 - 0} \Leftrightarrow a_m = 0,25 \text{ m s}^{-2}$$

$$[40; 80] \text{ s} \rightarrow a_m = \frac{10 - 10}{80 - 40} \Leftrightarrow a_m = 0 \text{ m s}^{-2}$$

$$[120; 160] \text{ s} \rightarrow a_m = \frac{0 - 20}{160 - 120} \Leftrightarrow a_m = -0,50 \text{ m s}^{-2}$$

- 6.2. O movimento é acelerado quando \vec{a}_m e \vec{v} têm o mesmo sentido e retardado quando \vec{a}_m e \vec{v} têm sentidos opostos. Então:

- no intervalo de tempo $[0; 40]$ s, como $a_m > 0$ e $v > 0$, o movimento é acelerado;
- no intervalo de tempo $[80; 120]$ s, como $a_m > 0$ e $v > 0$, o movimento é acelerado;
- no intervalo de tempo $[120; 160]$ s, como $a_m < 0$ e $v > 0$, o movimento é retardado.

Aceleração

A **aceleração**, \vec{a} , é uma **grandeza vetorial** que indica o modo como varia instantaneamente a velocidade.

Num movimento retilíneo, a **componente escalar da aceleração**, a , num dado instante, pode ser calculada a partir do **declive da reta tangente à curva**, no **gráfico velocidade-tempo**, $v = f(t)$, no instante considerado (**Fig. 19**).

Por análise do gráfico, verifica-se que:

- No instante t_A , a componente escalar da aceleração é positiva pelo que, sendo $a > 0$ e $v > 0$, o movimento é **acelerado**.
- No instante t_B , a componente escalar da aceleração é negativa pelo que, sendo $a < 0$ e $v > 0$, o movimento é **retardado**.
- No instante t_C , a componente escalar da **aceleração** é nula.

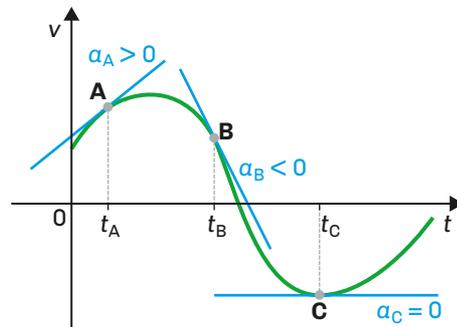


Fig. 19 Gráfico velocidade-tempo de um movimento retilíneo, no qual se representam as retas tangentes à curva, em diferentes pontos.

Movimento retilíneo uniformemente variado

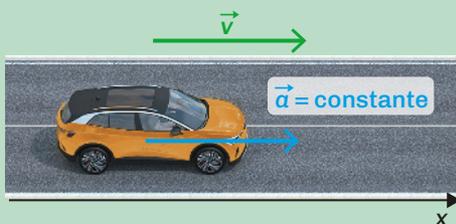
Um **movimento retilíneo uniformemente variado** é um movimento em que a **aceleração**, \vec{a} , é constante.

$$\vec{a} = \text{constante}$$

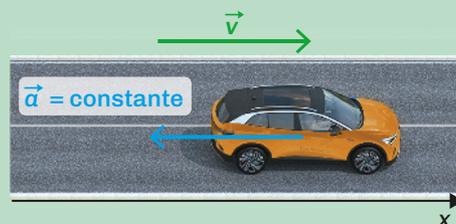
Lei das acelerações

Um movimento retilíneo uniformemente variado pode ser acelerado ou retardado

Se o movimento for **acelerado**, designa-se por **movimento retilíneo uniformemente acelerado (m.r.u.a.)**.



Se o movimento for **retardado**, designa-se por **movimento retilíneo uniformemente retardado (m.r.u.r.)**.



Sendo $\vec{a} = \text{constante}$, neste tipo de movimento, tem-se:

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

Se, no início da contagem dos tempos, $t_1 = 0$, a componente escalar da velocidade nesse instante (velocidade inicial), for v_0 , tem-se:

$$a = \frac{v - v_0}{t - 0} \iff v = v_0 + a t$$

$v = v_0 + a t$

Lei das velocidades ou equação das velocidades

Como são os gráficos velocidade-tempo e aceleração-tempo destes movimentos?

Movimento retilíneo uniformemente acelerado

Automóvel A



t/s	0	10	20	30
v/ms^{-1}	0	10	20	30

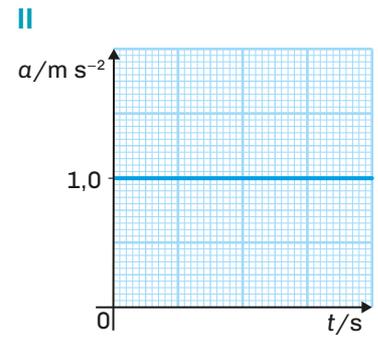
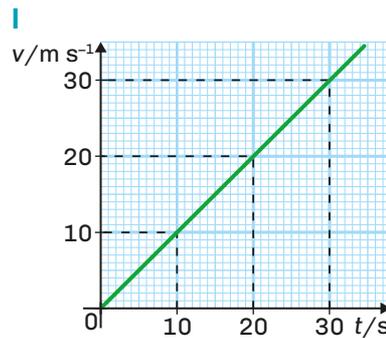


Fig. 20 (I) O valor da velocidade aumenta linearmente no tempo; (II) O valor da aceleração é, neste caso, positivo e mantém-se constante no decorrer do tempo.

Movimento retilíneo uniformemente retardado

Automóvel B



t/s	0	10	20	30
v/ms^{-1}	30	20	10	0

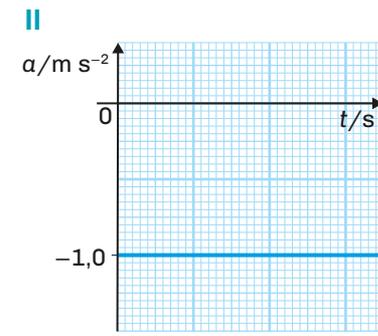
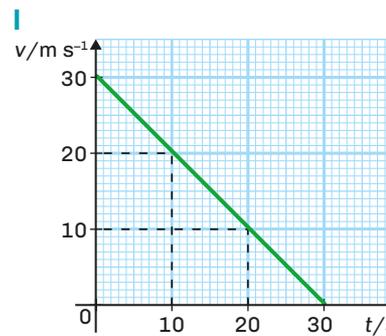


Fig. 21 (I) O valor da velocidade diminui linearmente no tempo; (II) O valor da aceleração é, neste caso, negativo e mantém-se constante no decorrer do tempo.

Gráficos velocidade-tempo e distância percorrida

Num movimento retilíneo, a **distância percorrida**, s , num determinado intervalo de tempo, pode ser obtida a partir do **gráfico velocidade-tempo**, calculando a **área compreendida entre a linha do gráfico e o eixo dos tempos**.

Para compreenderes melhor como se determina, considera o gráfico velocidade-tempo da **figura 22**, que diz respeito ao movimento retilíneo uniformemente acelerado, de um corpo, sem inversão de sentido.

Neste gráfico, a área compreendida entre a linha do gráfico e o eixo dos tempos é igual à área de um trapézio. Sendo,

$$A_{\text{trapézio}} = \frac{\text{base menor} + \text{base maior}}{2} \times \text{altura}$$

$$\text{tem-se: } s = \frac{v_0 + v_1}{2} \times t_1 \quad (1)$$

Pela lei das velocidades, é: $v_1 = v_0 + a t_1$.

Substituindo em (1), fica:

$$s = \frac{v_0 + v_0 + a t_1}{2} \times t_1 \Leftrightarrow s = v_0 t_1 + \frac{1}{2} a t_1^2$$

Logo, a **distância percorrida pelo corpo**, entre o instante inicial e o instante t_1 , é dada pela expressão:

$$s = v_0 t_1 + \frac{1}{2} a t_1^2 \quad (2)$$

Se o movimento se realizar segundo a direção do eixo dos xx , é $s = x_1 - x_0$, ou seja, substituindo em (2):

$$x_1 - x_0 = v_0 t_1 + \frac{1}{2} a t_1^2 \Leftrightarrow x_1 = x_0 + v_0 t_1 + \frac{1}{2} a t_1^2 \quad (3)$$

Num **movimento retilíneo uniformemente variado**, a equação (3), **equação das posições**, é também designada por **Lei das posições** ou **Lei do movimento**.

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Lei das posições ou
Lei do movimento

Saliente-se que **os valores de x_0** (abscissa da posição inicial), **de v_0** (componente escalar da velocidade inicial) **e de a** (componente escalar da aceleração) **podem ser positivos ou negativos**.

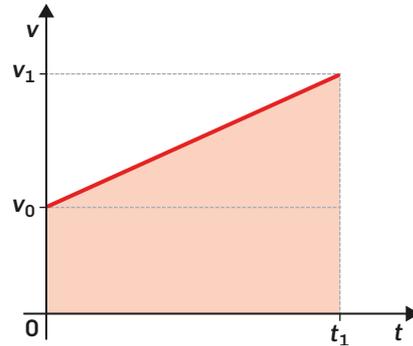
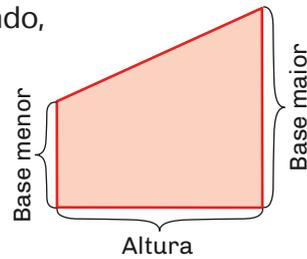


Fig. 22 Gráfico velocidade-tempo de um movimento retilíneo uniformemente acelerado.



O gráfico posição-tempo, $x = f(t)$, destes movimentos, é uma **parábola** ou **ramo de parábola**, cuja concavidade **depende do sinal positivo ou negativo da componente escalar da aceleração (Quadro 1)**.



Vídeo
Movimentos
retilíneos
variados

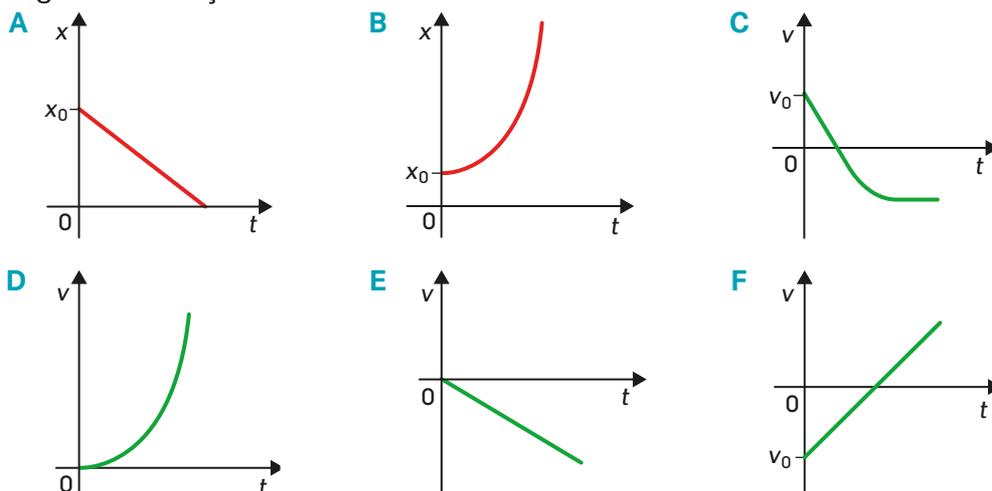


Exemplo	Gráfico posição-tempo	Gráfico velocidade-tempo	Gráfico aceleração-tempo
<p>1. Movimento retilíneo uniformemente acelerado</p> <p>$x_0 > 0; v_0 = 0$ $v > 0; a > 0$</p>			
<p>2. Movimento retilíneo uniformemente acelerado</p> <p>$x_0 > 0; v_0 < 0$ $v < 0; a < 0$</p>			
<p>3. Movimento retilíneo uniformemente retardado</p> <p>$x_0 = 0; v_0 > 0$ $v > 0; a < 0$</p>			
<p>4. Movimento retilíneo uniformemente retardado</p> <p>$x_0 < 0; v_0 < 0$ $v < 0; a > 0$</p>			
<p>5. Movimento retilíneo uniformemente variado (retardado e acelerado)</p> <p>$x_0 > 0; v_0 > 0$ $a < 0$</p>			

Quadro 1 Análise gráfica do movimento retilíneo uniformemente variado.

Exercícios resolvidos

- 7 Na figura estão representados seis gráficos referentes a movimentos retilíneos, segundo a direção do eixo dos xx .



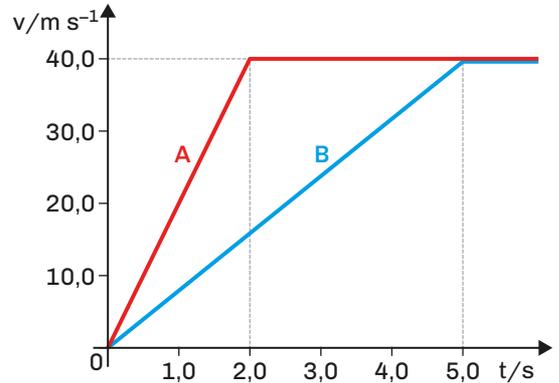
Diz qual(is) dos gráficos pode(m) corresponder aos movimentos seguintes.

- (A) Um corpo move-se inicialmente no sentido negativo e depois inverte o sentido.
- (B) A aceleração do movimento é nula.
- (C) A lei do movimento é $x = x_0 + \frac{1}{2} a t^2$ ($a > 0$).
- (D) O corpo move-se no sentido positivo com movimento retilíneo acelerado.
- (E) O movimento do corpo é uniformemente variado.
- (F) Numa primeira fase o corpo tem movimento uniformemente variado; posteriormente, o movimento do corpo é uniforme.

Resolução:

7. (A) **Gráfico F**, pois inicialmente é $v < 0$ e depois é $v > 0$.
- (B) **Gráfico A**, pois $v = \text{constante}$, uma vez que o gráfico $x = f(t)$ é uma reta, em que o declive é igual ao valor da velocidade. Logo, $v = \text{constante} \implies \vec{a} = 0$.
- (C) **Gráfico B**, pois a equação $x = x_0 + \frac{1}{2} a t^2$ diz respeito a um movimento retilíneo uniformemente variado, sem velocidade inicial e com $a > 0$.
- (D) **Gráfico D**, pois se o corpo se move no sentido positivo, é $v > 0$, e acelerado significa que a velocidade aumenta com o tempo (se $a = \text{constante}$, o movimento é uniformemente acelerado, o que não é o caso).
- (E) **Gráficos B, E e F**, pois, quando um movimento é uniformemente variado, o gráfico $v = f(t)$ é uma reta ($a = \text{constante}$) e o gráfico $x = f(t)$ é uma parábola ou ramo de parábola.
- (F) **Gráfico C**, pois, na primeira fase do movimento, o gráfico $v = f(t)$ é uma reta com $a \neq 0$ e constante e, na parte final do movimento, o gráfico $v = f(t)$ é uma reta horizontal. Logo, $v = \text{constante}$ (movimento uniforme).

- 8 Dois corpos, A e B, partem do repouso, no mesmo instante, descrevendo trajetórias retilíneas no mesmo sentido, segundo a direção do eixo dos xx . No instante inicial, $t = 0$ s, encontram-se na posição $x = 4,0$ m.



- 8.1 Classifica o movimento dos dois corpos no intervalo de tempo $[2,0; 5,0]$ s.
- 8.2 No instante $t = 5,0$ s, qual dos corpos, A ou B, se encontra mais distante da origem do referencial?
- 8.3 Indica a posição de cada um dos corpos no instante $t = 5,0$ s.

Resolução:

- 8.1. Corpo A – movimento retilíneo uniforme, pois o módulo da velocidade é constante neste intervalo de tempo.
 Corpo B – movimento retilíneo uniformemente acelerado, pois o módulo da velocidade aumenta neste intervalo de tempo.
- 8.2. Para responder à questão, podemos calcular, com base no gráfico, a componente escalar do deslocamento de A e de B, nos primeiros 5,0 s de movimento, a partir das áreas compreendidas entre as linhas do gráfico e o eixo dos tempos. Assim:

$$\text{Corpo A} \rightarrow \Delta x_A = \frac{3,0 + 5,0}{2} \times 40,0 \Leftrightarrow \Delta x_A = 160,0 \text{ m}$$

$$\text{Corpo B} \rightarrow \Delta x_B = \frac{5,0 \times 40,0}{2} \Leftrightarrow \Delta x_B = 100,0 \text{ m}$$

Logo, o corpo que se encontra mais distante da origem do referencial é o corpo A.

- 8.3. Os dois corpos iniciaram o movimento na posição $x = 4,0$ m. Logo, no instante $t = 5,0$ s, o corpo A encontra-se na posição $x_A = 164,0$ m e o corpo B na posição $x_B = 104,0$ m.

- 9 A Lei das posições do movimento retilíneo de um corpo é: $x = 4 t - t^2$ (SI).
- 9.1 Classifica o movimento.
- 9.2 Qual é o valor da velocidade inicial e da aceleração do corpo?
- 9.3 Escreve a equação das velocidades do movimento.

Resolução:

- 9.1. O movimento é retilíneo uniformemente variado, pois a lei deste movimento é do tipo $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$
- 9.2. Comparando a equação do movimento com a lei de um movimento uniformemente variado, verifica-se que: $v_0 = 4 \text{ m s}^{-1}$ e que $\frac{1}{2} a = -1 \Leftrightarrow a = -2 \text{ m s}^{-2}$
- 9.3. Sendo a Lei das velocidades deste movimento do tipo $v = v_0 + a t$, substituindo pelos valores, tem-se: $v = 4 - 2 t$ (SI)

Equação de Torricelli no movimento retilíneo uniformemente variado

Esta equação permite determinar o valor da aceleração, das velocidades final e inicial, e até do deslocamento de um corpo que se move com aceleração constante, quando não se conhece o intervalo de tempo no qual o movimento ocorreu.

Para determinarmos a equação de Torricelli, usamos a Lei das posições e a Lei das velocidades do movimento uniformemente variado:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v = v_0 + a t$$

Elevando ao quadrado a equação das velocidades, tem-se:

$$v^2 = (v_0 + a t)^2 \Leftrightarrow v^2 = v_0^2 + 2 v_0 a t + a^2 t^2 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow v^2 = v_0^2 + 2 a \left(v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \right) \quad (1)$$

A partir da Lei das posições, é:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \Leftrightarrow \Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Substituindo Δx na expressão (1), conclui-se que:

$$v^2 = v_0^2 + 2 a \Delta x$$

Equação de Torricelli

e Manual Digital

Vídeo
Movimentos retilíneos em planos horizontais



Exercício resolvido

- 10 Um motociclista, que se desloca numa estrada retilínea com a velocidade de 72 km h^{-1} , passa a mover-se, a partir de um determinado instante, com uma aceleração constante de 5 m s^{-2} .

Qual será o valor da sua velocidade, após percorrer 50 m ?

Resolução

10. Como se trata de um movimento retilíneo uniformemente variado, pois a aceleração é constante, e não se conhece o intervalo de tempo de movimento, pode recorrer-se à equação de Torricelli.

Sendo

$$v_0 = 72 \text{ km h}^{-1} \Leftrightarrow v_0 = \frac{72.000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \Leftrightarrow v_0 = 20 \text{ m s}^{-1}$$

substituindo pelos valores, na equação de Torricelli, tem-se:

$$v^2 = 20^2 + 2 \times 5 \times 50 \Leftrightarrow v^2 = 900 \Rightarrow v = 30 \text{ m s}^{-1}$$



Distância de segurança rodoviária e gráficos velocidade-tempo

Considera um **veículo em movimento retilíneo**. De repente, o condutor apercebe-se de um obstáculo à sua frente e trava.

O condutor conseguirá parar o automóvel a tempo de evitar um acidente?

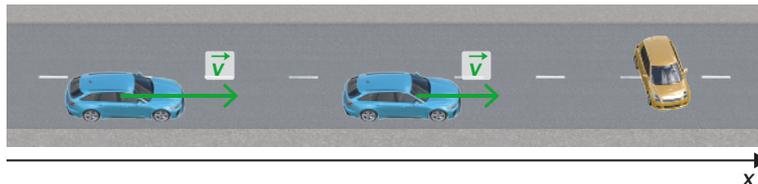


Fig. 23 Movimento retilíneo de um carro, a travar, tentando evitar um acidente.

Numa situação como esta, temos a considerar duas fases:

- A **primeira fase** está relacionada com o **tempo de reação** do condutor.

Na verdade, entre o instante em que o condutor vê o obstáculo e o instante em que inicia a travagem, decorre um intervalo de tempo: o **tempo de reação**, $\Delta t_{\text{reação}}$.

O **tempo de reação**, $\Delta t_{\text{reação}}$, é o intervalo de tempo que decorre entre o instante em que o condutor se apercebe do obstáculo e o instante em que inicia a travagem.

O **tempo de reação** varia de pessoa para pessoa (normalmente entre 0,7 e 1 s), sendo que, **para a mesma pessoa, depende do seu estado físico e psíquico (Fig. 24)**. O cansaço, consumo de álcool, drogas e certos medicamentos, afetam os reflexos do condutor e, conseqüentemente, o tempo de reação.

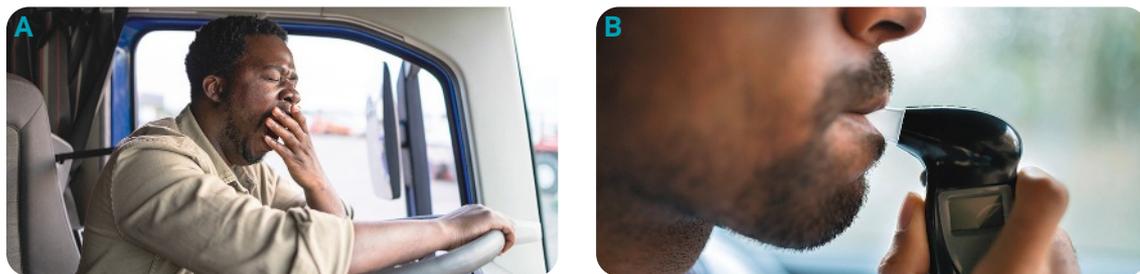


Fig. 24 O tempo de reação depende do estado físico e psíquico do condutor.

Durante o **tempo de reação**, o veículo percorre, com **movimento uniforme** (velocidade constante), uma distância designada por **distância de reação**, $s_{\text{reação}}$.

A **distância de reação**, $s_{\text{reação}}$, é a distância percorrida pelo veículo durante o tempo de reação.

- A **segunda fase** está relacionada com o **tempo de travagem**, $\Delta t_{\text{travagem}}$.

O **tempo de travagem**, $\Delta t_{\text{travagem}}$, é o intervalo de tempo que decorre entre o instante em que se inicia a travagem e o instante em que o veículo para.



Manual Digital
Vídeo
Tempos de reação e de travagem



Durante o tempo de travagem, o veículo percorre, com movimento uniformemente retardado, uma distância designada por **distância de travagem**, s_{travagem} .

A **distância de travagem**, s_{travagem} , é a distância percorrida pelo veículo durante o tempo de travagem.

O gráfico velocidade-tempo da **figura 25** mostra como pode variar a velocidade de um veículo, desde o instante em que o condutor se apercebe do obstáculo até parar em segurança.

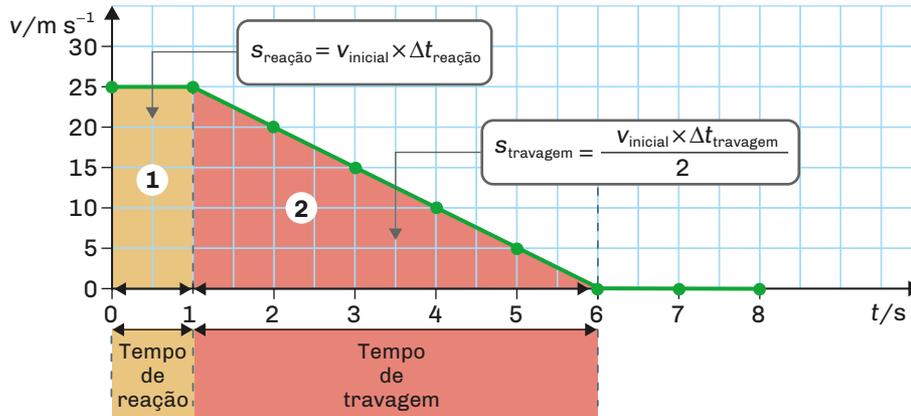


Fig. 25 A distância de reação e a distância de travagem podem ser calculadas a partir de um gráfico velocidade-tempo.

Neste gráfico, a **distância de reação**, $s_{\text{reação}}$, é calculada a partir da **área do retângulo (1)**.

$$s_{\text{reação}} = v_{\text{inicial}} \times \Delta t_{\text{reação}}$$

Substituindo pelos valores, fica:

$$s_{\text{reação}} = 25 \times 1 \Leftrightarrow s_{\text{reação}} = 25 \text{ m}$$

Quanto à **distância de travagem**, s_{travagem} , esta é calculada a partir da **área do triângulo (2)**.

$$s_{\text{travagem}} = \frac{v_{\text{inicial}} \times \Delta t_{\text{travagem}}}{2}$$

Substituindo pelos valores, fica:

$$s_{\text{travagem}} = \frac{25 \times 5}{2} \Leftrightarrow s_{\text{travagem}} = 62,5 \text{ m}$$

Logo, **para evitar um acidente**, o veículo deverá estar, no instante em que o condutor avista o obstáculo, a uma distância mínima igual à soma das distâncias de reação e de travagem. Esta distância mínima, designada por **distância de segurança**, $s_{\text{segurança}}$, é, neste caso:

$$s_{\text{segurança}} = 25 + 62,5 \Leftrightarrow s_{\text{segurança}} = 87,5 \text{ m}$$

A **distância de segurança**, $s_{\text{segurança}}$, é igual à **soma das distâncias de reação e de travagem**.

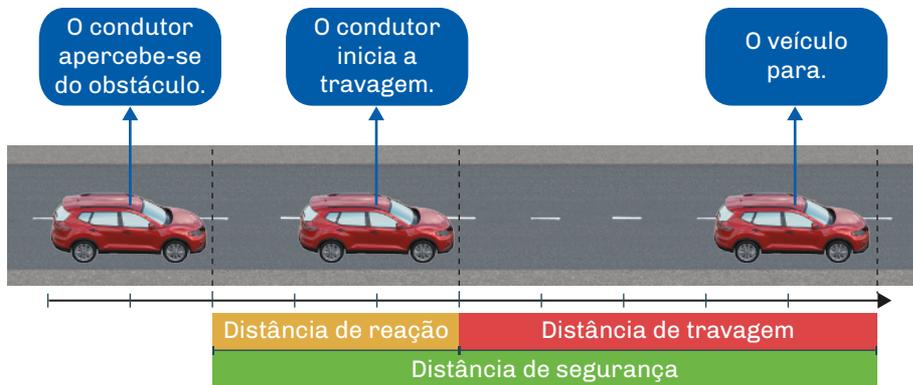


Fig. 26 Distância de segurança.

$$\text{Distância de segurança} = \text{Distância de reação} + \text{Distância de travagem}$$

Manual Digital

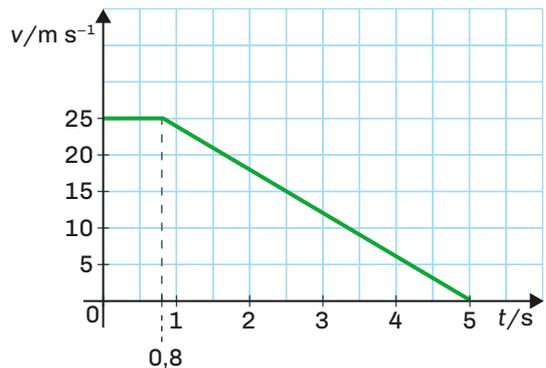
Vídeo
Determinação de distâncias de reação, de travagem e de segurança



Exercício resolvido

- 11 Um automóvel circula numa estrada retilínea à velocidade de 90 km h^{-1} . Num determinado instante, o condutor vê à sua frente, à distância de 80 m, um obstáculo que o obriga a imobilizar o automóvel a tempo de evitar um acidente.

Na figura, podes ver o gráfico velocidade-tempo do movimento do automóvel, desde o instante em que o condutor vê o obstáculo ($t = 0 \text{ s}$) até ao instante em que imobiliza o automóvel.



- 11.1 Determina a distância de reação.
11.2 Determina a distância total percorrida pelo automóvel, desde o instante em que o condutor se apercebe do obstáculo até ao instante em que para.
11.3 Conclui se o condutor conseguiu evitar a colisão.

Resolução

11.1. $v = 90 \text{ km h}^{-1} \Leftrightarrow v = \frac{90\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \Leftrightarrow v = 25 \text{ m s}^{-1}$

Sendo $s_{\text{reação}} = v_{\text{inicial}} \times \Delta t_{\text{reação}}$, substituindo pelos valores, tem-se:

$$s_{\text{reação}} = 25 \times 0,8 \Leftrightarrow s_{\text{reação}} = 20 \text{ m}$$

11.2. $s_{\text{travagem}} = \frac{v_{\text{inicial}} \times \Delta t_{\text{travagem}}}{2} \Rightarrow s_{\text{travagem}} = \frac{25 \times (5 - 0,8)}{2} \Leftrightarrow s_{\text{travagem}} = 52,5 \text{ m}$

$$\text{Logo, } s_{\text{total percorrida}} = 20 + 52,5 \Leftrightarrow s_{\text{total percorrida}} = 72,5 \text{ m}$$

- 11.3. Sim, o condutor conseguiu evitar o acidente, pois o obstáculo encontrava-se a uma distância de 80 m, distância superior à distância de segurança.

Movimento de queda vertical à superfície da Terra

Força gravítica

Todos os corpos, pelo facto de terem massa, exercem **forças de atração gravítica** uns nos outros, de acordo com a Lei de Gravitação Universal proposta pelo físico Isaac Newton (séc. XVII).

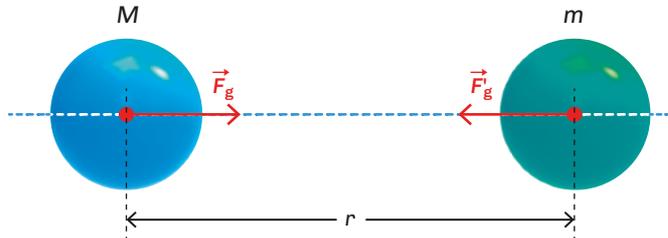


Fig. 27 Atração gravítica.

A **força gravítica** atua segundo a linha que une os centros de massa dos dois corpos (**Fig. 27**), e a sua intensidade é diretamente proporcional ao produto das suas massas, M e m , e inversamente proporcional ao quadrado da distância r , entre os seus centros.

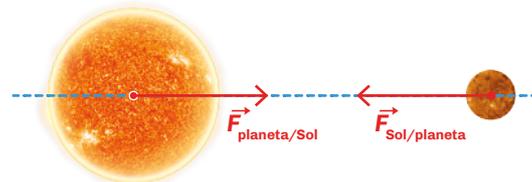


Fig. 28 $\vec{F}_{\text{Sol/planeta}}$ – força exercida pelo Sol no planeta;
 $\vec{F}_{\text{planeta/Sol}}$ – força exercida pelo planeta no Sol.

Por exemplo, na **figura 28** está representada a **interação gravitacional entre o Sol e um planeta**.

Por observação da figura, podes ver que o Sol exerce uma força sobre o planeta, $\vec{F}_{\text{Sol/planeta}}$, e que o planeta exerce uma força sobre o Sol, $\vec{F}_{\text{planeta/Sol}}$. **Estas duas forças têm a mesma intensidade e a mesma direção**; contudo, têm **sentidos opostos** e estão **aplicadas em corpos diferentes**. Uma das forças é exercida no planeta e a outra é exercida no Sol.

Também é devido à força gravítica que os corpos caem na direção do centro do planeta em que se encontram.

Na **figura 29**, podes ver uma maçã a cair para a superfície da Terra; ela cai devido à **força gravítica que a Terra exerce nela**.

Designamos por **peso**, \vec{P} , a força gravítica com que a Terra atrai um corpo.

Geralmente, a força gravítica é muito pequena, o que faz com que só seja percebida nos casos em que pelo menos um dos corpos possui uma massa muito grande, como, por exemplo, a massa da Terra. Embora a altura influencie a distância percorrida e o tempo de queda da maçã, a força gravitacional exercida pela Terra sobre a maçã não varia de forma significativa para alturas típicas próximas da superfície.

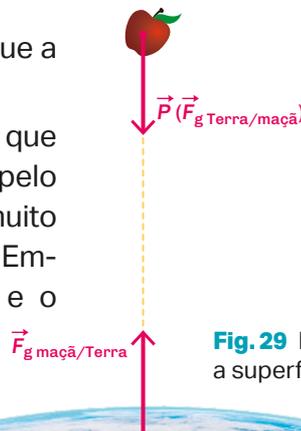


Fig. 29 Maçã a cair para a superfície da Terra.

e Manual Digital

Vídeo
Força gravítica



Movimento de queda vertical de um corpo com resistência do ar desprezável

Um **corpo em queda vertical à superfície da Terra** está, em muitas situações, sujeito a uma força da resistência do ar muito pequena, quando comparada com o seu peso. Diz-se que o **corpo sujeito apenas à força gravítica**, \vec{F}_g , também designado por **grave**, se encontra em **queda livre**, independentemente de se encontrar a cair ou a subir. A força gravitacional age sempre para baixo. Se o corpo está a cair o movimento é acelerado. Se o corpo está a subir o movimento é retardado.

Um **corpo em queda livre** encontra-se apenas sujeito à força gravítica.

Como a única força que atua no corpo é, então, a força gravítica, \vec{F}_g , ou peso do corpo, \vec{P} , podemos escrever, de acordo com a Lei Fundamental da Dinâmica:

$$\vec{P} = m \times \vec{a}$$

onde \vec{a} é a aceleração do corpo no seu movimento de queda livre.

Esta **aceleração** designa-se, por isso, **aceleração gravítica** e representa-se por \vec{g} (Fig. 30). Logo, temos:

$$\vec{P} = m \times \vec{g}$$

Dado que, **no mesmo lugar da Terra**, a **aceleração gravítica** é **constante**, o **peso** de um corpo também é **constante**.

O valor da aceleração gravítica depende do lugar da Terra onde o corpo se encontra. Não depende da massa nem da forma do corpo em queda. A aceleração gravítica na superfície da Terra é, aproximadamente, $\mathbf{g = 9,8 \text{ m s}^{-2}}$.



Fig. 30 \vec{P} e \vec{g} têm a mesma direção e sentido de cima para baixo.

Todos os **corpos em queda livre**, à superfície da Terra, caem com a mesma aceleração, a **aceleração da gravidade**, \vec{g} .

Movimento de queda livre vertical (só queda)

Considera, por exemplo, o movimento de **descida em queda livre de uma maçã e de uma bola de ténis** (Fig. 31). Como a aceleração da gravidade, \vec{g} , é constante durante a queda, a variação da velocidade, $\Delta\vec{v}$, da maçã e da bola é igual, num mesmo intervalo de tempo.

Logo, **a maçã e a bola**, como quaisquer outros corpos **quando largados da mesma altura**, independentemente da sua massa, e em condições idênticas (sem resistência do ar ou em vácuo) **caem ao mesmo tempo**, atingindo o solo simultaneamente.

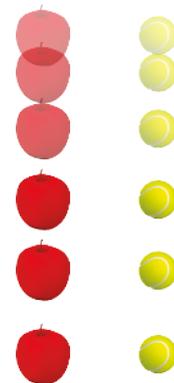


Fig. 31 Sem resistência do ar, a maçã e a bola de ténis, largadas da mesma altura, caem ao mesmo tempo.

Manual Digital

Vídeo
Aceleração gravítica



Um **gráfico velocidade-tempo** para o movimento de descida em **queda livre da bola ou da maçã** está representado na **figura 32B**, considerando o referencial unidimensional Oy indicado.

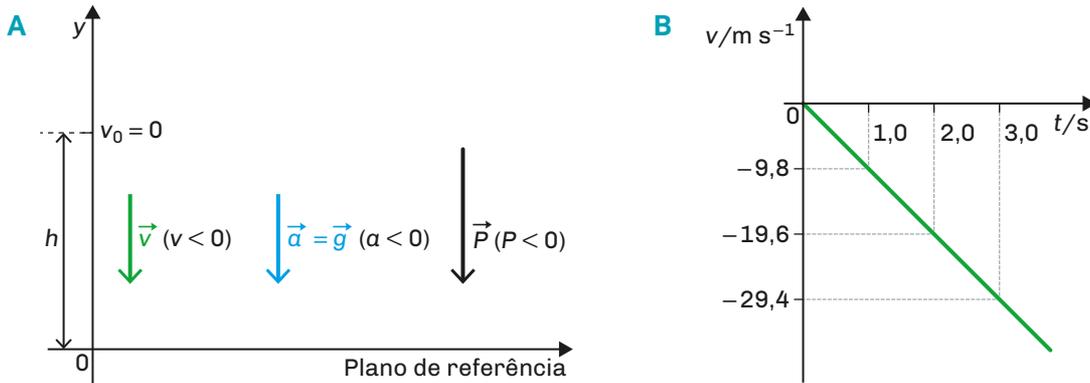


Fig. 32 A Referencial unidimensional Oy , considerado para o movimento; **B** Gráfico velocidade-tempo.

Uma vez que o **movimento de queda livre da bola e da maçã** se efetua no **sentido contrário ao considerado positivo**, os valores da **velocidade**, \vec{v} , e da **aceleração**, \vec{g} , são ambos **negativos** ($v < 0$ e $g < 0$).

Se na queda livre (descida) a **velocidade**, \vec{v} , e a **aceleração**, \vec{g} , têm o **mesmo sentido** ($v < 0$ e $g < 0$), o **movimento é acelerado**.

Como a **aceleração**, \vec{g} , é **constante**, trata-se de um **movimento retilíneo uniformemente variado**, neste caso, **acelerado**.

O **gráfico velocidade-tempo** é uma **reta**, pois o **módulo da aceleração gravítica** é **constante**. O **declive da reta** é igual à **componente escalar da aceleração gravítica**, g .

O **movimento de queda livre vertical (apenas queda)** de um corpo é um **movimento uniformemente acelerado**.

Exercício resolvido

- 12 Um corpo pequeno é largado de uma altura de 30 m, sendo a resistência do ar desprezável. Considera a direção do movimento a do eixo dos yy , e o sentido positivo de baixo para cima ($g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$).
- 12.1 Classifica o movimento do corpo.
- 12.2 Escreve a equação das posições e a equação das velocidades deste movimento.
- 12.3 Determina o tempo de queda do corpo.
- 12.4 Determina o módulo da velocidade com que o corpo atinge o solo.

Resolução

12.1. Como a resistência do ar é desprezável, a aceleração do movimento é a aceleração da gravidade, \vec{g} , que é constante durante a queda. Logo, o movimento de queda do corpo é um movimento retilíneo uniformemente acelerado.

12.2. A equação das posições e das velocidades são do tipo:

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \text{ e } v = v_0 + g t$$

Sendo o corpo largado de uma altura $y_0 = 30 \text{ m}$, $v_0 = 0 \text{ m s}^{-1}$ e $g = -9,8 \text{ m s}^{-2}$, tem-se:

- $y = 30 - 4,9 t^2$ (equação das posições)
- $v = -9,8 t$ (equação das velocidades)

12.3. No solo, é $y = 0 \text{ m}$. Sendo $y_0 = 30 \text{ m}$ e $g = -9,8 \text{ m s}^{-2}$, tem-se, substituindo pelos valores na equação das posições: $0 = 30 - 4,9 t^2 \Leftrightarrow 4,9 t^2 = 30 \Leftrightarrow t^2 = 6,1 \Rightarrow t = 2,47 \text{ s}$

12.4. Sendo o tempo de queda $t = 2,47 \text{ s}$, substituindo pelos valores na equação das velocidades, tem-se: $v = -9,8 \times 2,47 \Leftrightarrow v = -24,2 \text{ m s}^{-1}$

O módulo da velocidade com que o corpo atinge o solo é $v = 24,2 \text{ m s}^{-1}$.

Movimento de queda livre vertical (subida e queda)

Considera, agora, uma **bola** que é **atirada verticalmente para cima** ($\vec{v}_0 \neq 0$), próximo da superfície da Terra e com a resistência do ar desprezável (**Fig. 33**).

Consideremos o referencial unidimensional Oy indicado na figura:

- **Numa primeira fase** do movimento, a **bola sobe**, tendo a **velocidade, \vec{v} , o sentido positivo** do movimento e a **aceleração gravítica, \vec{g} , que é constante, o sentido contrário ao da velocidade** ($v > 0$ e $g < 0$).

O movimento é, portanto, **uniformemente retardado**.

- **Num dado instante**, a **velocidade, \vec{v} , da bola anula-se** e o **sentido do movimento inverte-se**. Dizemos que a **bola atingiu a altura máxima**.

- **Após esse instante**, o movimento de **descida** da bola faz-se no **sentido negativo**.

Logo, **na descida**, a **velocidade, \vec{v} , o peso, \vec{P} , e a aceleração gravítica, \vec{g} , têm sentido negativo** ($v < 0$ e $g < 0$). O movimento é, portanto, **uniformemente acelerado**.

Na **figura 34B** podes ver um possível **gráfico velocidade-tempo** para o movimento da **bola que é atirada verticalmente para cima**, com resistência do ar desprezável.

O **gráfico velocidade-tempo** é uma **reta**, pois o **módulo da aceleração gravítica é constante**. O **declive da reta** é igual à **componente escalar da aceleração gravítica, g** .

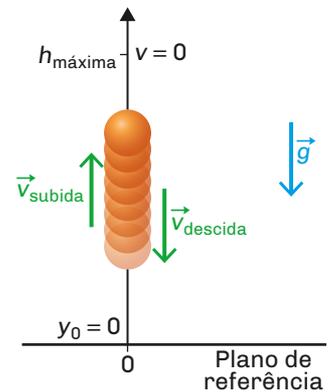


Fig. 33 Bola atirada verticalmente para cima (resistência do ar desprezável).

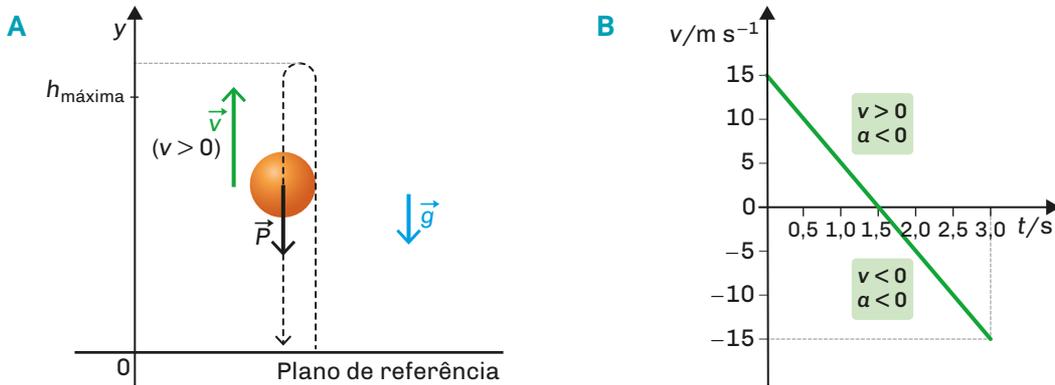


Fig. 34 **A** Referencial unidimensional Oy , considerado para o movimento; **B** Gráfico velocidade-tempo.

Por análise deste gráfico, verificas que:

- No intervalo de tempo $[0; 1,5]$ s, a bola sobe, com **movimento retilíneo uniformemente retardado** ($v > 0$ e $a < 0$), até atingir a altura máxima.
- No instante $t = 1,5$ s, a **velocidade** da bola **anula-se** ($v = 0$). A bola atinge, nesse instante, a **altura máxima**, $h_{\text{máx}}$, e o sentido do movimento inverte-se.
- No intervalo de tempo $[1,5; 3,0]$ s, a bola cai com **movimento retilíneo uniformemente acelerado** ($v < 0$ e $a < 0$), até atingir o solo.

O **movimento de queda livre (subida e queda)** de um corpo é um movimento **uniformemente variado**: retardado na subida e acelerado na descida.

No lançamento vertical, com resistência do ar desprezável, haverá alguma relação entre os tempos de subida, de descida e de voo do corpo?

- O **tempo de subida**, isto é, o tempo decorrido **desde o instante de lançamento vertical** de um corpo, desprezando a resistência do ar, **até ao instante em que o corpo atinge a altura máxima** ($v = 0$), pode ser calculado através da equação das velocidades.

Assim, sendo $v = v_0 + a t$ e sabendo que $v = 0 \text{ m s}^{-1}$ e $a = -g$, quando o corpo atinge a altura máxima, tem-se:

$$0 = v_0 - g t_{\text{subida}} \Leftrightarrow t_{\text{subida}} = \frac{v_0}{g}$$

A **altura máxima**, $h_{\text{máx}}$, calcula-se pela equação das posições. Considerando $y_0 = 0 \text{ m}$, e $t = t_{\text{subida}}$, tem-se:

$$h_{\text{máx}} = 0 + v_0 t_{\text{subida}} - \frac{1}{2} g t_{\text{subida}}^2 \Leftrightarrow h_{\text{máx}} = v_0 t_{\text{subida}} - \frac{1}{2} g t_{\text{subida}}^2 \quad (1)$$

Sendo $v_0 = g t_{\text{subida}}$ substituindo na expressão (1), fica:

$$h_{\text{máx}} = g t_{\text{subida}}^2 - \frac{1}{2} g t_{\text{subida}}^2 \Leftrightarrow h_{\text{máx}} = \frac{1}{2} g t_{\text{subida}}^2 \quad (2)$$

e Manual Digital

Vídeo
Tempo de queda livre de um corpo



- Na descida, desde a posição em que o corpo atinge a altura máxima, $h_{\text{máx}}$, até atingir a posição de lançamento ($y = 0$ m), a equação das posições pode ser escrita:

$$0 = h_{\text{máx}} + 0 - \frac{1}{2} g t_{\text{descida}}^2 \Leftrightarrow h_{\text{máx}} = \frac{1}{2} g t_{\text{descida}}^2 \quad (3)$$

Comparando as expressões (2) e (3), conclui-se que, no lançamento vertical com resistência do ar desprezável (queda livre), os **tempos de subida e de descida** do corpo são **iguais**.

- O **tempo de voo de um corpo** que é lançado verticalmente para cima (desprezando a resistência do ar) e **atinge a posição de lançamento** é, portanto, igual à soma do tempo de subida com o tempo de descida, ou seja, é igual ao dobro do tempo de subida ou do tempo de descida.

$$t_{\text{voo}} = t_{\text{subida}} + t_{\text{descida}}$$

ou

$$t_{\text{voo}} = 2 t_{\text{subida}}$$

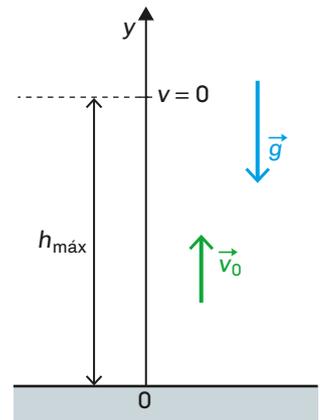
ou

$$t_{\text{voo}} = 2 t_{\text{descida}}$$

Exercícios resolvidos

- 13 Uma bola é lançada verticalmente para cima, de uma altura de 2,0 m, com uma velocidade de 20 m s^{-1} . Considerando a resistência do ar desprezável, determina:

- 13.1 o tempo que a bola demora a atingir a altura máxima;
- 13.2 a altura máxima atingida pela bola;
- 13.3 o tempo que a bola demora a chegar ao solo, a partir do instante de lançamento;
- 13.4 a componente escalar da velocidade da bola, quando esta atinge metade da altura máxima (Considera $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$).



Resolução

13.1. $y_0 = 2,0 \text{ m}$; $v_0 = 20 \text{ m s}^{-1}$; $g = -9,8 \text{ m s}^{-2}$

As equações do movimento em relação ao eixo dos yy são:

- Equação das posições: $y = 2,0 + 20 t - 4,9 t^2$ (SI)
- Equação das velocidades: $v = 20 - 9,8 t$ (SI)

A altura máxima é atingida no instante em que $v = 0 \text{ m s}^{-1}$. Então, recorrendo à equação das velocidades, tem-se: $v = 20 - 9,8 t \Rightarrow 0 = 20 - 9,8 t_{\text{subida}} \Leftrightarrow t_{\text{subida}} = 2,0 \text{ s}$

- 13.2. Substituindo o tempo que a bola demora a atingir a altura máxima, $t_{\text{subida}} = 2,0 \text{ s}$, na equação das posições, obtém-se a posição da bola nesse instante:

$$y = 2,0 + 20 \times 2,0 - 4,9 \times 2,0^2 \Leftrightarrow y = 22,4 \text{ m} \Rightarrow h_{\text{máx}} = 22,4 \text{ m}$$

13.3. Quando a bola chega ao solo é $y = 0$ m. Recorrendo à equação das posições, tem-se:

$$0 = 2,0 + 20t - 4,9t^2 \Leftrightarrow 4,9t^2 - 20t - 2,0 = 0$$

Resolvendo esta equação de 2.º grau em ordem a t , obtém-se:

$$t = \frac{20 \pm \sqrt{(-20)^2 - 4 \times 4,9 \times (-2,0)}}{2 \times 4,9} \Leftrightarrow t = 4,18 \text{ s}$$

13.4. Metade da altura máxima corresponde à posição $y = 11,2$ m.

Para determinarmos a componente escalar da velocidade quando a bola atinge esta posição, temos de calcular primeiro o instante correspondente, recorrendo à equação das posições.

$$11,2 = 2,0 + 20t - 4,9t^2 \Leftrightarrow 4,9t^2 - 20t + 9,2 = 0$$

Resolvendo esta equação do 2.º grau em ordem a t , obtém-se:

$$t = \frac{20 \pm \sqrt{(-20)^2 - 4 \times 4,9 \times 9,2}}{2 \times 4,9} \Rightarrow t = 3,55 \text{ s ou } t = 0,53 \text{ s}$$

A bola atinge metade da altura máxima no instante $t = 0,53$ s, na subida, e, no instante $t = 3,55$ s, na descida.

Recorrendo à equação das velocidades, tem-se:

- Para o instante $t = 0,53$ s (na subida): $v = 20 - 9,8 \times 0,53 \Leftrightarrow v = 14,8 \text{ m s}^{-1}$
- Para o instante $t = 3,55$ s (na descida): $v = 20 - 9,8 \times 3,55 \Leftrightarrow v = -14,8 \text{ m s}^{-1}$

Logo, o módulo das componentes escalares da velocidade, quando a bola passa pela posição correspondente a metade da altura máxima, é igual na subida e na descida.

14 Um corpo é lançado verticalmente para cima, a partir do solo, com uma velocidade $v = 12 \text{ m s}^{-1}$. Na sua queda, cai sobre uma plataforma que se encontra a 4 m do solo. Considera desprezável a resistência do ar e $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$.

14.1 Calcula o tempo que o corpo demora desde o seu lançamento até atingir a plataforma.

14.2 Qual foi a altura máxima atingida pelo corpo relativamente à plataforma?

Resolução

14.1. $y_0 = 0$ m; $y = 4,0$ m; $v_0 = 12 \text{ m s}^{-1}$ e $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$

Como se trata de um movimento retilíneo uniformemente variado, é:

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \Rightarrow 4,0 = 0 + 12t - \frac{1}{2} \times 9,8 \times t^2 \Leftrightarrow 4,9t^2 - 12t + 4,0 = 0$$

Resolvendo esta equação do 2.º grau em ordem a t , obtém-se:

$$t = \frac{12 \pm \sqrt{12^2 - 4 \times 4,9 \times 4,0}}{2 \times 4,9} \Leftrightarrow t = \frac{12 \pm \sqrt{65,6}}{2 \times 4,9} \Rightarrow t_1 = 0,40 \text{ s ou } t_2 = 2,0 \text{ s}$$

Na subida, o corpo passa pela posição $y = 4,0$ m, no instante $t_1 = 0,40$ s, e, na descida, cai na plataforma no instante $t_2 = 2,0$ s.

14.2. Sendo $t_{\text{subida}} = \frac{v_0}{g}$ e $h_{\text{máx}} = \frac{1}{2} g t_{\text{subida}}^2$ (em relação ao solo), tem-se:

$$h_{\text{máx}} = 4,9 \times \left(\frac{12}{9,8}\right)^2 \Leftrightarrow h_{\text{máx}} = 7,3 \text{ m}$$

A altura máxima atingida pelo corpo relativamente à plataforma é:

$$h_{\text{máx}} = 7,3 - 4,0 \Leftrightarrow h_{\text{máx}} = 3,3 \text{ m.}$$

Atividade prática 1: Determinar o valor da aceleração da gravidade num movimento de queda livre e verificar se depende da massa dos corpos.

Introdução

Utilizando os sensores de aceleração presentes na maioria dos *smartphones* e recorrendo à aplicação SPARKvue, que permite a recolha e análise de dados em tempo real, vamos determinar a aceleração da gravidade.

Material e equipamento

- Telemóvel
- Pano grande (tipo toalha)
- Fita adesiva
- Massas
- Fita métrica

Procedimento

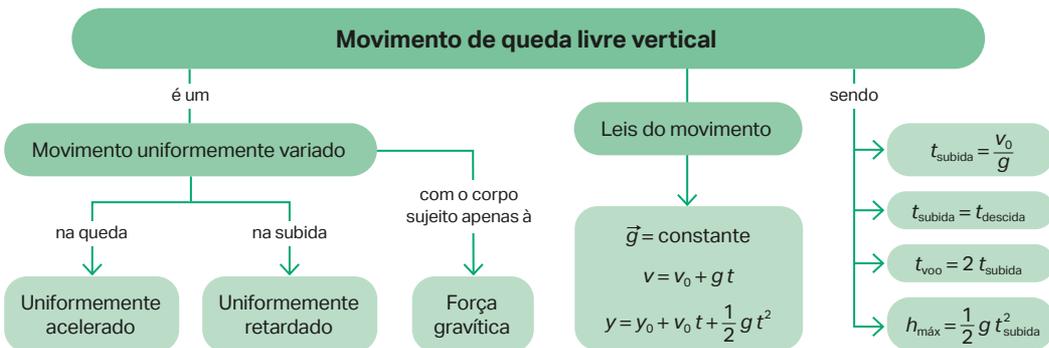
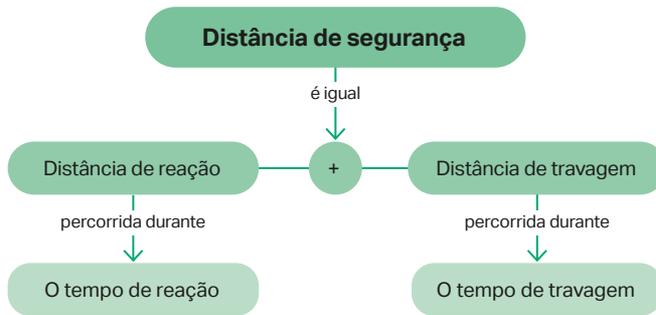
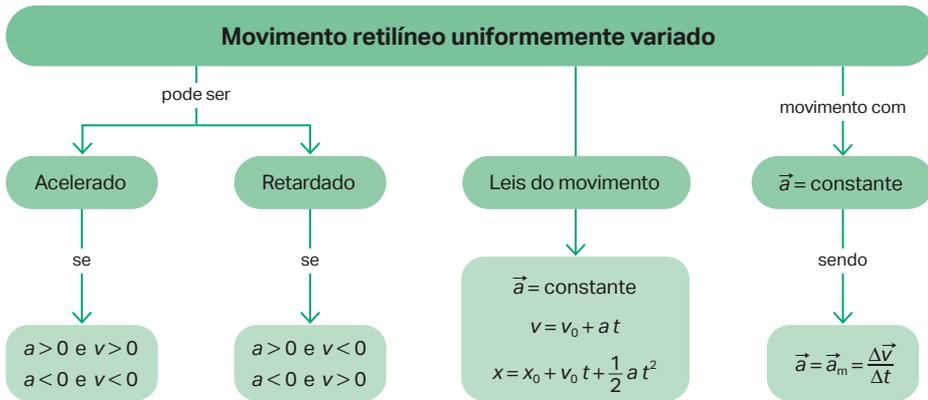
- 1 Começar por descarregar e instalar no telemóvel a aplicação SPARKvue.
- 2 Selecionar o caminho "Dados do sensor".
- 3 Configurar o sensor de aceleração.
- 4 Selecionar a opção "Aceleração Z".
- 5 Selecionar o modelo "Tabela e gráfico".
- 6 Selecionar opções de amostragem, no campo inferior esquerdo, e ajustar a "Taxa de amostragem" para a frequência de 10 Hz.
- 7 Clicar no botão "Iniciar" e deixar cair o telemóvel (queda livre) de uma altura de cerca de 2,0 m, sobre um pano esticado, de forma a amortecer a queda.
- 8 Vizualizar, no ecrã do telemóvel, o gráfico da aceleração em função do tempo.
- 9 Recolher os dados obtidos para a queda.
- 10 Repetir o procedimento para diferentes alturas de queda.
- 11 Repetir o procedimento, fixando com a fita adesiva diferentes massas ao telemóvel.



Exploração dos resultados

- Analisar o gráfico da aceleração em função do tempo e identificar o intervalo de tempo correspondente à queda livre.
- Recolher os valores da aceleração no intervalo de tempo anteriormente referido.
- Calcular, para cada queda, o valor mais provável (média) da aceleração da gravidade.
- Comparar o valor obtido com o valor tabelado.
- Responder à pergunta: largando corpos em queda livre, com massas diferentes, qual deles terá maior aceleração?

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **aceleração média**, \vec{a}_m , é uma **grandeza física vetorial** que se calcula dividindo a variação da velocidade, $\Delta\vec{v}$, pelo intervalo de tempo, Δt , correspondente.

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad \text{ou} \quad \vec{a}_m = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$$

- Um **movimento retilíneo** pode ter aceleração nula, mas um **movimento curvilíneo** tem sempre aceleração.
- A **componente escalar da aceleração média**, a_m , num movimento retilíneo, pode ser determinada a partir de um gráfico velocidade-tempo, $v = f(t)$, pelo declive da reta que passa pelos pontos (t, v) , nos instantes considerados.

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

- Um **movimento retilíneo uniformemente variado** é um movimento em que a **aceleração**, \vec{a} , é **constante**, ou seja, a aceleração é constante em módulo, direção e sentido. Este pode ser:
 - **acelerado** se os **vetores** \vec{a} e \vec{v} tiverem a **mesma direção e sentido**;
 - **retardado** se os **vetores** \vec{a} e \vec{v} tiverem a **mesma direção e sentido oposto**.

- **Leis do movimento:**

- **Lei das acelerações:** $\vec{a} = \text{constante}$
- **Lei das velocidades:** $v = v_0 + a t$
- **Lei das posições:** $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

- **Equação de Torricelli no movimento retilíneo uniformemente variado:**

$$v^2 = v_0^2 + 2 a \Delta x$$

- O **tempo de reação**, $\Delta t_{\text{reação}}$, é o intervalo de tempo que decorre entre o instante em que o condutor se apercebe do obstáculo e o instante em que inicia a travagem.
- A **distância de reação**, $s_{\text{reação}}$, é a distância percorrida pelo veículo durante o tempo de reação.
- O **tempo de travagem**, $\Delta t_{\text{travagem}}$, é o intervalo de tempo que decorre entre o instante em que se inicia a travagem e o instante em que o veículo para.
- A **distância de travagem**, s_{travagem} , é a distância percorrida pelo veículo durante o tempo de travagem.
- A **distância de segurança**, $s_{\text{segurança}}$, é igual à **soma das distâncias de reação e de travagem**.

$$s_{\text{segurança}} = s_{\text{reação}} + s_{\text{travagem}}$$

- Todos os corpos, por terem massa, exercem **forças de atração gravítica** uns nos outros.
- Designamos por **peso**, \vec{P} , a força gravítica com que a Terra atrai um corpo.
- Um **corpo em queda livre** encontra-se apenas sujeito à força gravítica.
- Todos os **corpos em queda livre**, à superfície da Terra, caem com a mesma aceleração, a **aceleração da gravidade**, \vec{g} .

$$\vec{P} = m \vec{g}$$

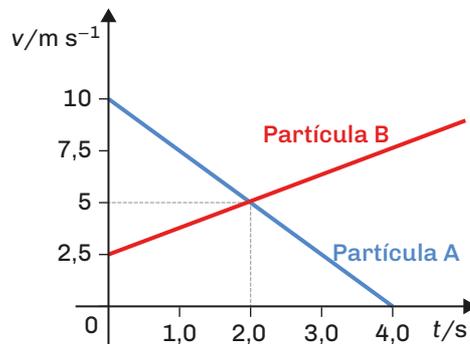
- O **movimento de queda livre vertical (só queda)** de um corpo é um **movimento uniformemente acelerado**.
- O **movimento de queda livre (subida e queda)** de um corpo é um movimento **uniformemente variado**: retardado na subida e acelerado na descida.
- **No lançamento vertical, com resistência do ar desprezável:**
 - O **tempo de subida** é: $t_{\text{subida}} = \frac{v_0}{g}$
 - O **tempo de descida** é **igual** ao tempo de subida.
 - A **altura máxima** é: $h_{\text{máx}} = \frac{1}{2} g t_{\text{subida}}^2$ OU $h_{\text{máx}} = \frac{1}{2} g t_{\text{descida}}^2$
 - O **tempo de voo** é:

$$t_{\text{voo}} = t_{\text{subida}} + t_{\text{descida}} \quad \text{OU} \quad t_{\text{voo}} = 2 t_{\text{subida}} \quad \text{OU} \quad t_{\text{voo}} = 2 t_{\text{descida}}$$

Exercícios de aplicação

- 1 Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações.
 - (A) A velocidade é uma grandeza escalar que nos indica a direção e o sentido do movimento e a rapidez com que o corpo muda de posição.
 - (B) Num movimento retilíneo, a velocidade, \vec{v} , é constante.
 - (C) A componente escalar da velocidade, num dado instante, é igual ao declive da reta tangente à curva, no gráfico posição-tempo, nesse instante.
 - (D) Quanto maior for o módulo do declive da reta tangente à curva no gráfico posição-tempo, num determinado instante, maior é o módulo da componente escalar da velocidade nesse instante.

- 2 A figura mostra, no mesmo gráfico $v = f(t)$, a componente escalar da velocidade, em função do tempo, de duas partículas, A e B, que, partindo da origem, se movem em linha reta segundo a direção do eixo dos xx .



- 2.1.** Indica o sentido em que se movimentam as duas partículas.
- 2.2.** Algum dos movimentos é acelerado? E retardado? Justifica.
- 2.3.** Calcula as componentes escalares da aceleração de cada partícula.
- 2.4.** Calcula a componente escalar do deslocamento das duas partículas, no intervalo de tempo $[0; 2,0]$ s:
 - 2.4.1.** a partir do gráfico;
 - 2.4.2.** a partir das equações do movimento.

- 3** Um corpo, de massa 5 kg, move-se horizontalmente segundo uma trajetória retilínea.

Considera que o corpo pode ser representado pelo seu centro de massa (modelo da partícula material).

Admite que a componente escalar da posição, x , do corpo em relação a um determinado referencial unidimensional Ox varia com o tempo, t , de acordo com a equação

$$x = -25,0 - 20,0 t + 2,5 t^2 \text{ (SI)}$$

- 3.1.** Refere em que sentido se desloca o corpo no instante inicial.
- 3.2.** A componente escalar, segundo o referencial Ox considerado, da velocidade, v_x , do corpo varia com o tempo, t , de acordo com a equação
 - (A) $v_x = -20,0 + 5 t$ (SI)
 - (B) $v_x = -25,0 - 20,0 t$ (SI)
 - (C) $v_x = -20,0 + 2,5 t$ (SI)
 - (D) $v_x = -25,0 + 40,0 t$ (SI)
- 3.3.** A partir do instante $t = 4$ s, admite que o corpo está a ser puxado por um fio, que exerce uma força, \vec{F} , na direção e no sentido do movimento. Entre o corpo e a superfície atua uma força de atrito de 2,0 N. A intensidade da força de atrito éx..... % da intensidade da força aplicada pelo fio.
Determina o valor de x . Apresenta todas as etapas de resolução.

- 4** Seleciona a opção que completa corretamente seguinte frase.

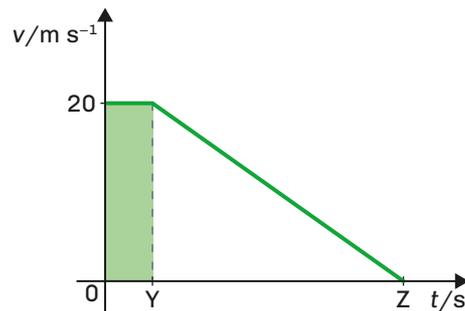
Num movimento retilíneo uniformemente variado...

- (A) a componente escalar da aceleração é positiva.
- (B) a componente escalar da aceleração é nula.
- (C) a componente escalar da aceleração varia.
- (D) a aceleração é constante.

5 Selecciona a opção correta.

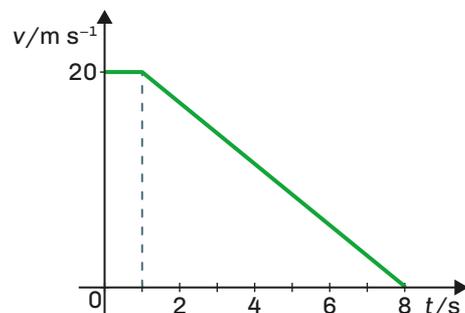
- (A) Num movimento retilíneo uniforme, como a velocidade é constante, a aceleração também é constante e diferente de zero.
 (B) O tempo de reação depende do estado do pavimento.
 (C) A unidade SI de aceleração é o km h^{-1} .
 (D) A distância de segurança depende do tempo de reação do condutor e da velocidade do veículo quando o condutor se apercebe do obstáculo.

6 Um condutor seguia a 20 m s^{-1} quando avistou um obstáculo parado no meio da estrada. O gráfico velocidade-tempo mostra como variou o valor da velocidade do automóvel até parar.



- 6.1. O que representa o intervalo de tempo $[0; Y]$?
- 6.2. Qual das opções seguintes corresponde ao tempo de travagem?
 (A) $Z + Y$ (B) $Z - Y$ (C) Z (D) Y
- 6.3. Qual das opções seguintes corresponde à distância de segurança?
 (A) $20 Y$ (B) $\frac{20 (Z - Y)}{2}$
 (C) $20 Y + 20 Z$ (D) $20 Y + \frac{20 (Z - Y)}{2}$

7 O gráfico mostra a variação do valor da velocidade de um automóvel que se move numa estrada retilínea e horizontal, a partir do instante em que o condutor se apercebe de um veículo à sua frente.



Na referida estrada a velocidade máxima é 90 km h^{-1} e a distância de segurança é 30 m .

- 7.1. O condutor respeitou a velocidade máxima permitida? Justifica.
 7.2. Quanto tempo demorou o condutor a travar?
 7.3. Determina o valor da aceleração do automóvel durante a travagem.
 7.4. Classifica, justificando, o movimento do automóvel durante a travagem.
 7.5. No instante em que o condutor avistou o veículo, a distância que os separava era de 100 m . Verifica se os dois veículos colidiram.

8 Seleciona a opção que completa corretamente a frase seguinte:
Em queda livre, o tempo de queda de corpos, que partem do repouso e da mesma altura, da massa e da forma dos corpos e é tanto menor quanto for a aceleração gravítica à superfície da Terra.

- (A) depende ... maior (B) depende ... menor
(C) é independente ... maior (D) é independente ... menor

9 Seleciona a opção que completa corretamente a frase seguinte:
O módulo da velocidade com que os corpos chegam ao solo, durante uma queda livre, é da massa dos corpos e, durante a queda, a resultante das forças que atua no corpo é

- (A) dependente ... nula
(B) independente ... constante e com o sentido do movimento
(C) dependente ... constante e com o sentido do movimento
(D) independente ... nula

10 Um coco desprende-se de um coqueiro caindo verticalmente. Durante a queda, desprezando a resistência do ar, o coco adquire um movimento retilíneo...

- (A) uniformemente acelerado. (B) uniformemente variado.
(C) uniforme. (D) uniformemente retardado.

11 Um corpo é largado, de uma altura h à superfície da Terra, e cai verticalmente em queda livre. A componente escalar da velocidade do corpo, v , em função do tempo, t , pode ser dada por:

- (A) $v = 9,8 - 4,9 t$ (SI) (B) $v = - 9,8 t$ (SI)
(C) $v = - 4,9 t$ (SI) (D) $v = 20 - 9,8 t$ (SI)

12 O Pedro atira verticalmente para cima uma pequena bola, apanhando-a de novo com a mão. Considera desprezável a resistência do ar e o sentido do eixo dos yy de baixo para cima ($g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$).

12.1. Indica qual das seguintes equações traduz o movimento da bola, em unidades SI.

- (A) $y = 1,2 - 4,0 t + 4,9 t^2$ (B) $y = 1,2 + 4,0 t - 4,9 t^2$
(C) $y = 1,2 - 4,9 t^2$ (D) $y = 1,2 + 4,0 t - 9,8 t^2$

12.2. Indica o valor da velocidade inicial da bola.

12.3. Escreve a equação que traduz a lei das velocidades do movimento.

12.4. Determina o tempo que a bola permanece no ar.

1.3. Movimento circular uniforme

Componentes tangencial e normal da aceleração

Vimos que a **aceleração**, \vec{a} , indica o modo como a velocidade, \vec{v} , varia num dado instante. Mesmo que o módulo da velocidade não varie, **um movimento tem aceleração se a direção da velocidade mudar**.

É o que acontece **nos movimentos curvilíneos**; nestes movimentos **há sempre aceleração**.

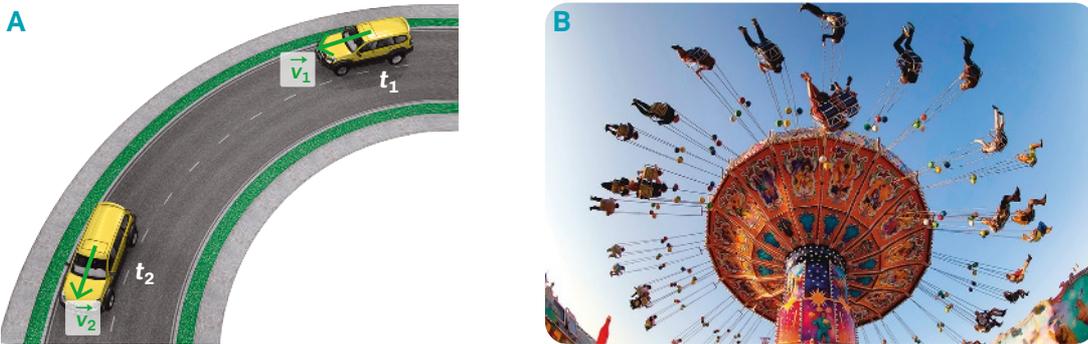


Fig. 35 **A** Se a direção da velocidade mudar, o movimento tem aceleração; **B** Movimento circular num baloiço gigante, num parque de diversões.

Quando uma partícula descreve uma **trajetória curvilínea** (Fig. 35), pode ser útil, para o estudo do movimento, utilizar um **referencial associado à partícula**, isto é, um **referencial que se move com ela**, em vez de um referencial cartesiano fixo.

Assim, se definirmos dois eixos perpendiculares, um com a direção da velocidade – **direção da tangente** à trajetória no ponto considerado – e outro com **direção perpendicular** à anterior, a **aceleração**, \vec{a} , pode escrever-se:

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

Portanto, a **aceleração**, \vec{a} , pode ser decomposta, em qualquer ponto da trajetória, numa **componente tangencial**, \vec{a}_t , e numa **componente normal**, \vec{a}_n , à trajetória, por vezes também designada **aceleração centrípeta**, \vec{a}_c (Fig. 36).

- A **componente tangencial da aceleração**, \vec{a}_t , está associada à **variação temporal do módulo da velocidade**.

Num movimento em que o **módulo da velocidade é constante**, a **componente tangencial da aceleração é nula** ($v = \text{constante} \Rightarrow a_t = 0$).

É o caso do **movimento retilíneo uniforme** ou do **movimento circular uniforme**.

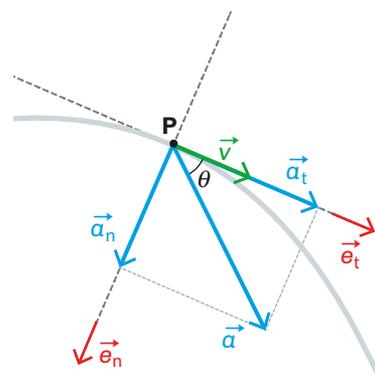


Fig. 36 Vetor aceleração, \vec{a} , e suas componentes \vec{a}_t e \vec{a}_n .

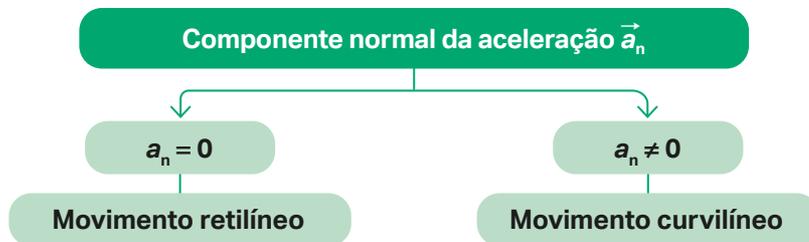
- A **componente normal da aceleração**, \vec{a}_n , está **associada à variação temporal da direção da velocidade**. O seu módulo calcula-se pela expressão:

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

em que r é o raio de curvatura da trajetória nesse ponto.

Como se pode ver nesta expressão, a **aceleração normal** (ou centrípeta) é **diretamente proporcional ao quadrado do módulo da velocidade** e **inversamente proporcional ao raio de curvatura da trajetória**.

Notar que a **componente normal da aceleração**, \vec{a}_n , **só existe em movimentos curvilíneos**. Na verdade, num movimento retilíneo, o raio de curvatura é infinito ($r = \infty$). Logo, sendo $a_n = \frac{v^2}{r}$, tem-se: $a_n = \frac{v^2}{\infty} \Rightarrow a_n = 0$.



Movimento circular uniforme

Se um corpo se encontra em movimento e **se sobre ele atua uma força de módulo constante, com direção perpendicular à da velocidade**, que é tangente à trajetória em cada instante, a **direção da velocidade varia**, mas não o seu **módulo**; este permanece **constante**.

Se a direção da velocidade varia, a velocidade, \vec{v} , varia; logo, **a aceleração, \vec{a} , do movimento não é nula**.

$$(\Delta \vec{v} \neq \vec{0} \Rightarrow \vec{a} \neq \vec{0})$$

Nestas circunstâncias, o corpo passa a descrever uma **trajetória circular** e o **movimento é circular uniforme**.

É o que se passa com o **movimento de um satélite em órbita à volta da Terra (Fig. 37)**.

A força gravítica que a Terra exerce no satélite faz variar a direção da velocidade do satélite, mas não o seu módulo.

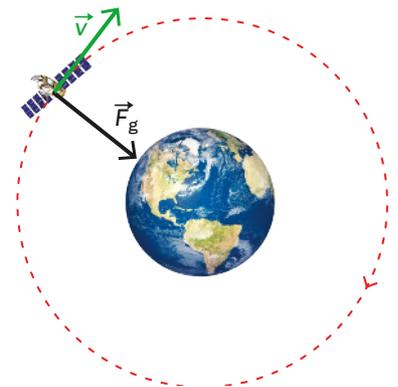


Fig. 37 Uma força perpendicular à velocidade só faz variar a direção da velocidade.

Uma **força que atua num corpo, segundo a direção perpendicular à velocidade**, só faz variar a direção da velocidade; não altera o seu módulo. A **trajetória é circular**.



Vídeo
Movimento
circular uniforme



O mesmo acontece, aproximadamente, com os **movimentos da Lua em órbita à volta da Terra** e dos **planetas do Sistema Solar em órbita em volta do Sol**. A velocidade só varia em direção, porque a **força gravítica é sempre perpendicular à velocidade**.

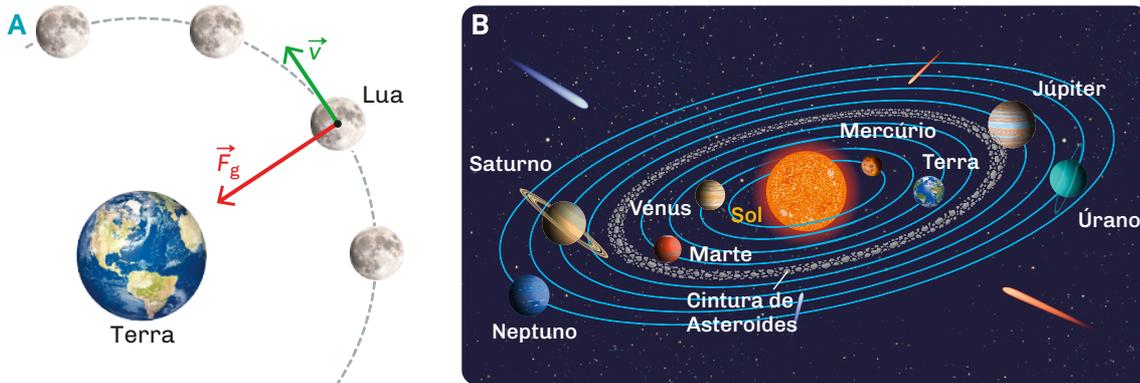


Fig. 38 Os movimentos da Lua em volta da Terra e dos planetas do Sistema Solar em volta do Sol são aproximações do movimento circular uniforme.

Estes movimentos (**Fig. 38**), praticamente circulares, são aproximações do movimento circular uniforme.

Além dos exemplos citados, muitos outros **exemplos de movimentos circulares uniformes** podem ser referidos: o movimento das cadeiras numa roda gigante (**Fig. 39**), de um carrossel, das pás de uma ventoinha elétrica, da hélice de um motor, dos ponteiros de um relógio, etc.

Num movimento circular uniforme:

- O **módulo da velocidade** permanece **constante** ($v = \text{constante}$).
- A **velocidade**, \vec{v} , é **tangente à trajetória** em cada instante.
- A **aceleração**, \vec{a} , é **radial** (direção do raio) e **centrípeta** (dirigida para o centro da trajetória) – $\vec{a} = \vec{a}_c$.



Fig. 39 Roda gigante num parque de diversões.

Período e frequência

O **movimento circular uniforme** é um **movimento periódico**, pois é um movimento que se repete em cada nova volta que o corpo descreve. Isto significa que o corpo passa diversas vezes pela mesma posição, com a mesma velocidade e aceleração, em intervalos de tempo iguais.

- O **tempo** que um corpo demora a efetuar uma **volta completa** (ou rotação) designa-se por **período**, T .

A **unidade SI** de **período** é o **segundo**, s .

- O **número de voltas** (ou rotações) que um corpo executa **por unidade de tempo** designa-se por **frequência, f** .

A **unidade SI** de **frequência** é o **hertz, Hz**, ou s^{-1} .

O **período, T** , é o tempo de uma volta completa e a **frequência, f** , é o número de voltas por unidade de tempo. A **frequência, f** , é **igual ao inverso do período, T** .

$$f = \frac{1}{T}$$

Velocidade angular

A **velocidade angular, $\vec{\omega}$** , é uma grandeza física vetorial, perpendicular ao plano da trajetória circular; o seu módulo é igual ao ângulo descrito, por unidade de tempo. Assim, se no intervalo de tempo, Δt , o ângulo descrito for $\Delta\theta$, tem-se:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

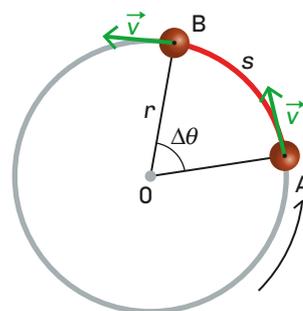


Fig. 40 Movimento circular uniforme de uma partícula entre A e B, num certo intervalo de tempo.

Na **figura 40**, podes ver representada a distância, s , percorrida pela partícula sobre a trajetória de A para B, num certo intervalo de tempo, Δt , descrevendo um ângulo $\Delta\theta$ entre A e B. Se, neste movimento, a partícula percorrer, sobre a trajetória, distâncias iguais em intervalos de tempo iguais, então, o ângulo $\Delta\theta$ descrito pela partícula, em intervalos de tempo iguais, é sempre o mesmo. Logo, **a velocidade angular, $\vec{\omega}$, é constante neste movimento**.

A **unidade SI** de **velocidade angular** é o **radiano por segundo, rad s^{-1}** .

O **ângulo $\Delta\theta$** tem de ser expresso, neste caso, **em radianos** e não em graus, sendo, contudo, uma grandeza adimensional.

No movimento circular uniforme:

- o **módulo da velocidade linear, v** , é **constante**;
- a **velocidade angular, $\vec{\omega}$** , é **constante**.

Uma vez que **num período, T** , a partícula dá uma **volta completa**, é $\Delta\theta = 2\pi \text{ rad}$. Então, podemos escrever:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{ou} \quad \omega = 2\pi f \quad (\text{pois } f = \frac{1}{T})$$

Velocidade linear

Sabemos que, num **movimento uniforme** ($v = \text{constante}$), o **módulo da velocidade**, v , é **igual à rapidez média**, r_m .

Num movimento circular uniforme, em que r é o raio da trajetória circular, num intervalo de tempo correspondente a um período, T , a distância percorrida sobre a trajetória corresponde ao perímetro da circunferência, que é $2\pi r$. Então, o módulo da velocidade linear é:

$$\mathbf{v} = \frac{2\pi r}{T} \quad \text{ou} \quad \mathbf{v} = 2\pi r f \quad \text{ou} \quad \mathbf{v} = \omega r \quad (\text{pois } \omega = \frac{2\pi}{T})$$

Como se pode constatar através desta última expressão, para uma **mesma velocidade angular**, ω , o **módulo da velocidade linear**, v , é **diretamente proporcional ao raio**, r , da trajetória.

No **movimento circular uniforme**, o **módulo da velocidade linear**, v , é igual ao produto do módulo da velocidade angular, ω , pelo raio, r , da trajetória.



Vídeo
Grandezas características dos movimentos circulares



Exercícios resolvidos

- 15 A hélice de um motor roda com uma frequência de 66 rpm (rotações por minuto). Considera, nessa hélice, um ponto A, a 30 cm do eixo de rotação, e um ponto B, a 45 cm do mesmo eixo de rotação. Determina, em unidades SI, para cada um desses pontos:
- 15.1 a frequência e o período;
 - 15.2 o módulo da velocidade angular;
 - 15.3 o módulo da velocidade linear.

Resolução

- 15.1. Todos os pontos de uma hélice rodam com a mesma frequência e o mesmo período, independentemente da distância a que se encontram do eixo de rotação. Assim, os pontos A e B têm a mesma frequência e o mesmo período.

$$\text{Sendo } f = 66 \text{ rpm} \Rightarrow f = \frac{66 \text{ rotações}}{60 \text{ s}} \Leftrightarrow f = 1,1 \text{ Hz} \Rightarrow T = \frac{1}{1,1} \Leftrightarrow T = 0,91 \text{ s}$$

- 15.2. O módulo da velocidade angular também não depende da distância do ponto ao eixo de rotação. Os pontos A e B têm, portanto, a mesma velocidade angular.

$$\text{Sendo } \omega = 2\pi f, \text{ tem-se, substituindo pelos valores: } \omega = 2 \times 3,14 \times 1,1 \Leftrightarrow \omega = 6,9 \text{ rad s}^{-1}$$

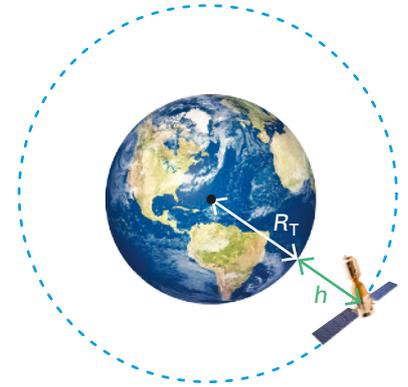
- 15.3. O módulo da velocidade linear depende do raio da trajetória, pois $v = \omega r$. Assim:

- para o ponto A, tem-se: $v_A = 6,9 \times 0,30 \Leftrightarrow v_A = 2,1 \text{ m s}^{-1}$
- para o ponto B, tem-se: $v_B = 6,9 \times 0,45 \Leftrightarrow v_B = 3,1 \text{ m s}^{-1}$

Como se constata, o módulo da velocidade do ponto B, ponto mais periférico, é maior.

- 16 Um satélite geostacionário é um satélite que orbita no plano do equador, descrevendo uma órbita circular, com um período de translação igual ao período de rotação da Terra, ou seja, 24 horas.

Verifica, se um satélite terrestre que descreve uma trajetória circular, no plano do equador, a uma altitude de cerca de $3,6 \times 10^4$ km, com uma velocidade orbital de $3,1 \times 10^3$ m s⁻¹, é geostacionário ($R_T \approx 6,4 \times 10^3$ km).



Resolução

16. Como conhecemos, o módulo da velocidade orbital e a altitude, podemos utilizar a expressão $v = \omega r$, em que r é o raio da órbita do satélite que é igual a $R_T + h$, para determinarmos o período do movimento orbital do satélite. Assim, tem-se:

$$v = \omega r \Leftrightarrow v = \frac{2\pi}{T} (R_T + h) \Leftrightarrow T = \frac{2\pi}{v} (R_T + h)$$

Substituindo pelos valores, tem-se:

$$T = \frac{2 \times 3,14}{3,1 \times 10^3} \times (6,4 \times 10^6 + 3,6 \times 10^7) \Leftrightarrow T = 8,6 \times 10^4 \text{ s} \Leftrightarrow T = \frac{8,6 \times 10^4}{3600} \Leftrightarrow T = 24 \text{ h}$$

Logo, o satélite é geostacionário pois encontra-se a orbitar a Terra no plano do equador, com um período orbital de 24 horas.

Aceleração centrípeta

Vimos já que **uma partícula em movimento circular uniforme tem uma aceleração centrípeta** (grandeza vetorial). O seu módulo relaciona-se com o módulo da velocidade linear, v , e com o raio da circunferência, r , descrita no seu movimento, pela seguinte expressão:

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

Sendo $v = \omega r$, também se tem:

$$a_c = \frac{(\omega r)^2}{r} \Leftrightarrow a_c = \omega^2 r$$

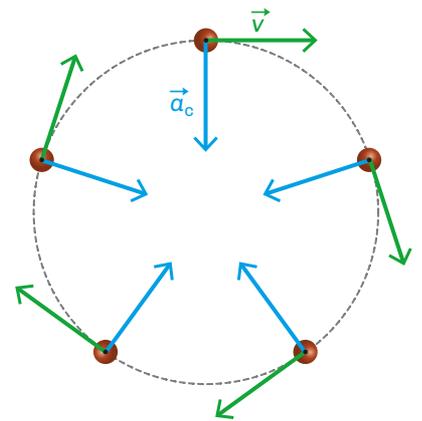


Fig. 41 \vec{v} e \vec{a}_c de uma partícula com movimento circular uniforme.

No **movimento circular uniforme**, o **módulo da aceleração centrípeta**, a_c , é igual ao produto do quadrado da velocidade angular, ω , pelo raio, r , da trajetória.

Algumas expressões utilizadas no estudo do movimento circular uniforme			
Frequência	Velocidade angular	Velocidade linear	Aceleração centrípeta
$f = \frac{1}{T}$	$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$	$v = \frac{s}{\Delta t}$	$a_c = \frac{v^2}{r}$
	$\omega = \frac{2\pi}{T}$	$v = \frac{2\pi r}{T}$	$a_c = \frac{(\omega r)^2}{r}$
	$\omega = 2\pi f$	$v = 2\pi r f$	$a_c = \omega^2 r$
		$v = \omega r$	

Quadro 2 Expressões do movimento circular uniforme.

Exercício resolvido

- 17 Uma pequena esfera de alumínio, que se encontra presa na extremidade de um fio com 1,0 m de comprimento, é posta a girar, com movimento circular uniforme, dando duas voltas por segundo. Calcule:
- 17.1 o módulo da velocidade linear;
- 17.2 o módulo da aceleração centrípeta.

Resolução

17.1. Se a esfera de alumínio dá duas voltas por segundo, a frequência do movimento é 2,0 Hz.

Sendo $v = 2\pi r f$, substituindo pelos valores, tem-se:

$$v = 2 \times 3,14 \times 1,0 \times 2,0 \Leftrightarrow v = 12,6 \text{ m s}^{-1}$$

17.2. Sendo $a_c = \frac{v^2}{r}$, substituindo pelos valores, tem-se:

$$a_c = \frac{12,6^2}{1,0} \Leftrightarrow a_c = 1,6 \times 10^2 \text{ m s}^{-2}$$

Leis angulares horárias no movimento circular uniforme

Vimos que, **no movimento circular uniforme**, a **velocidade angular é constante**, sendo $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$. Se, no instante $t = 0$ s, o vetor posição da partícula fizer um ângulo θ_0 com o eixo dos xx , num instante t teremos:

$$\omega = \frac{\theta - \theta_0}{t - 0} \Leftrightarrow$$

$$\theta = \theta_0 + \omega t$$

Lei das posições angulares

Leis angulares horárias no movimento circular uniforme	
Lei das velocidades angulares	$\vec{\omega} = \text{constante}$
Lei das posições angulares	$\theta = \theta_0 + \omega t$

Quadro 3 Expressões angulares do movimento circular uniforme.

Exercícios resolvidos

- 18 Uma broca roda a uma velocidade constante de 2400 rpm. Determina, para um ponto na periferia da broca:
- 18.1 o módulo da velocidade angular;
- 18.2 o ângulo descrito pelo segmento de reta, que une esse ponto e o eixo de rotação, durante 2,0 s.

Resolução

- 18.1. Quando a broca dá uma volta completa, 2π rad corresponde ao ângulo descrito. Assim, se considerarmos que durante 60 s a broca descreve o ângulo $\Delta\theta = 2400 \times 2\pi$, tem-se:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Rightarrow \omega = \frac{2400 \times 2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} \Leftrightarrow \omega = 80\pi \text{ rad s}^{-1} \Leftrightarrow \omega = 251 \text{ rad s}^{-1}$$

- 18.2. Aplicando a lei das posições angulares no movimento circular uniforme, $\theta = \theta_0 + \omega t$, tem-se: $\theta = 0 + 251 \times 2,0 \Leftrightarrow \theta = 5,0 \times 10^2 \text{ rad}$

- 19 Considera um relógio de ponteiros.
- 19.1 Determina o módulo da velocidade angular dos ponteiros das horas e dos minutos.
- 19.2 Escreve a lei da posição angular para cada um dos ponteiros.
- 19.3 Determina o módulo da velocidade linear da extremidade do ponteiro dos minutos, sabendo que o comprimento deste ponteiro é 2,0 cm.
- 19.4 Calcula o módulo da aceleração centrípeta da extremidade do ponteiro das horas, sabendo que o seu comprimento é 1,5 cm.



Resolução

- 19.1. O período do ponteiro das horas é 12 h, ou seja, $T_{\text{pont/horas}} = 12 \times 3600 \Leftrightarrow$

$$T_{\text{pont/horas}} = 43\,200 \text{ s}$$

O período do ponteiro dos minutos é 60 min, ou seja, $T_{\text{pont/minutos}} = 60 \times 60 \Leftrightarrow$

$$T_{\text{pont/minutos}} = 3600 \text{ s}.$$

Logo, sendo $\omega = \frac{2\pi}{T}$, tem-se: $\omega_{\text{pont/horas}} = \frac{2 \times 3,14}{43\,200} \Leftrightarrow \omega_{\text{pont/horas}} = 1,4 \times 10^{-4} \text{ rad s}^{-1}$ e

$$\omega_{\text{pont/minutos}} = \frac{2 \times 3,14}{3600} \Leftrightarrow \omega_{\text{pont/minutos}} = 1,7 \times 10^{-3} \text{ rad s}^{-1}$$

- 19.2. $\theta = \theta_0 + \omega t$. Logo, tem-se: $\theta_{\text{pont/horas}} = \theta_0 + 1,4 \times 10^{-4} t$ (SI) e $\theta_{\text{pont/minutos}} = \theta_0 + 1,7 \times 10^{-3} t$ (SI).

- 19.3. Recorrendo à expressão $v = \omega r$, tem-se:

$$v = 1,7 \times 10^{-3} \times 2,0 \times 10^{-2} \Leftrightarrow v = 3,4 \times 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$$

- 19.4. Sendo $a_c = \omega^2 r$, tem-se: $a_c = (1,4 \times 10^{-4})^2 \times 1,5 \times 10^{-2} \Leftrightarrow a_c = 2,9 \times 10^{-10} \text{ m s}^{-2}$

Atividade prática 2: Determinar, experimentalmente, a relação entre o módulo da aceleração centrípeta e o módulo da velocidade angular.

Introdução

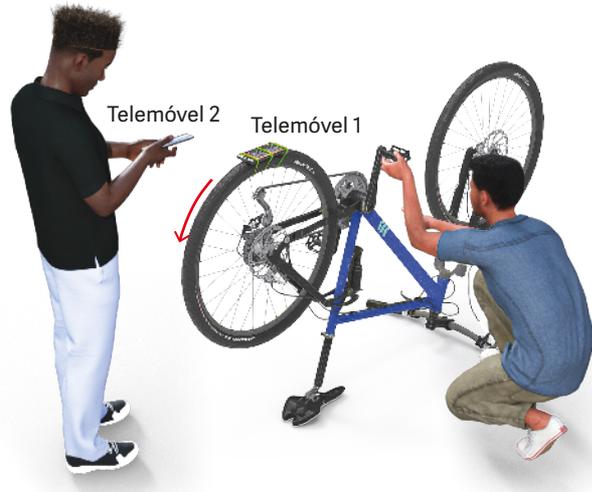
Utilizando os sensores de aceleração e de velocidade angular presentes na maioria dos *smartphones* e recorrendo à aplicação *phyphox*, que permite a recolha e análise de dados em tempo real, vamos determinar a relação entre o módulo da aceleração centrípeta e o módulo da velocidade angular.

Material e equipamento

- Telemóvel 1 (com sensores)
- Telemóvel 2 (para controlo remoto)
- Bicicleta
- Atilhos ou elásticos

Procedimento

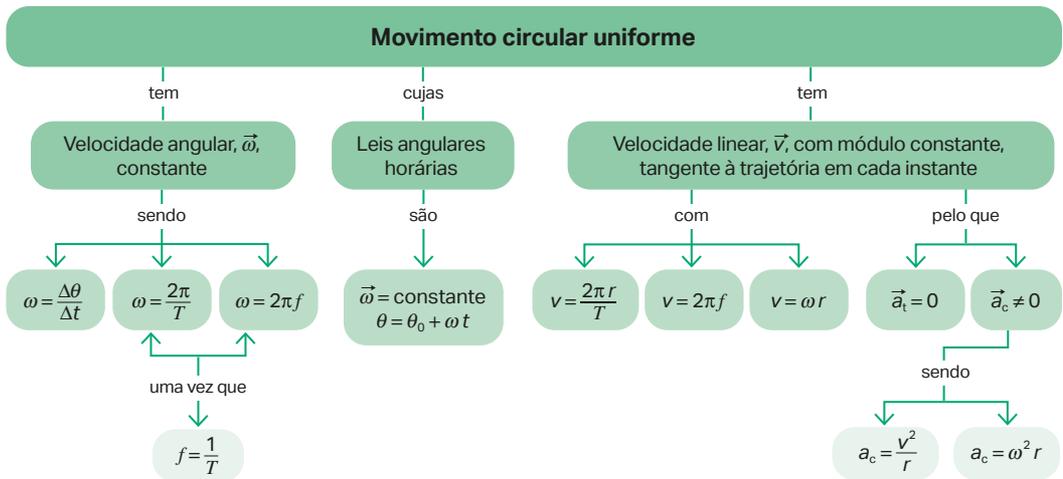
- 1 Começar por descarregar e instalar num dos telemóveis a aplicação *phyphox*. Este, telemóvel 1, irá funcionar como sensor e o outro, telemóvel 2, como controlo remoto.
- 2 Abrir a aplicação *phyphox* e selecionar na secção mecânica "Aceleração Centrípeta".
- 3 Clicar nos três pontinhos do canto superior direito e selecionar "Permitir acesso remoto" seguido de "OK".
- 4 Copiar o URL, que surge no fundo da página, para o segundo telemóvel (ou *tablet*, ou computador).
- 5 Colocar a bicicleta no chão, com as rodas viradas para cima.
- 6 Prender com atilhos ou elásticos, paralelamente à roda, o telemóvel 1 sobre a roda traseira. Certificar-se de que este fica solidamente seguro de forma a garantir que não se solte e se danifique.
- 7 Apoiar a mão num dos pedais e rodar.
- 8 No telemóvel 2, clicar no triângulo para iniciar a aquisição de dados.
- 9 Rodar o pedal com diferentes velocidades angulares. Ter o cuidado de não rodar com velocidades elevadas (não exceder 30 voltas por segundo).



Exploração dos resultados

- Analisar os gráficos obtidos.
- Relacionar cada um dos gráficos com as expressões teóricas estudadas.
- Responder à pergunta: a partir de que gráfico se poderia obter o raio da trajetória?

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **aceleração**, \vec{a} , pode ser decomposta, em qualquer ponto da trajetória curvilínea, numa **componente tangencial**, \vec{a}_t , e numa **componente normal**, \vec{a}_n , à trajetória.

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

- A **componente tangencial da aceleração**, \vec{a}_t , está **associada à variação temporal do módulo da velocidade**.

Num movimento em que o **módulo da velocidade** é **constante**, a **componente tangencial da aceleração** é **nula** ($v = \text{constante} \implies a_t = 0$). É o caso do movimento retilíneo uniforme ou do movimento circular uniforme.

- A **componente normal da aceleração**, \vec{a}_n , está **associada à variação temporal da direção da velocidade**. O seu módulo calcula-se pela expressão:

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$

em que r é o raio de curvatura da trajetória nesse ponto.

- **Num movimento circular uniforme:**
 - O **módulo da velocidade** permanece **constante** ($v = \text{constante}$).
 - A **velocidade**, \vec{v} , é **tangente à trajetória** em cada instante.
 - A **aceleração**, \vec{a}_c , é **radial** (direção do raio) e **centrípeta**.
- O **período**, T , é o tempo de uma volta completa e a **frequência**, f , é o número de voltas por unidade de tempo. A **unidade SI** de **período** é o **segundo**, s , e a de **frequência** é o **hertz**, Hz , ou s^{-1} .
- A **frequência**, f , é **igual ao inverso do período**, T .

$$f = \frac{1}{T}$$

- O **módulo da velocidade angular**, ω , é igual ao ângulo descrito, por unidade de tempo.

- A **unidade SI** de **velocidade angular** é o **radiano por segundo**, rad s^{-1} .

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad \omega = 2\pi f$$

- O **módulo da velocidade linear**, v , relaciona-se com o raio da trajetória, o período, a frequência e o módulo da velocidade angular, através das expressões:

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad v = 2\pi r f \quad v = \omega r$$

- O **módulo da aceleração centrípeta**, a_c , relaciona-se com o módulo da velocidade linear, da velocidade angular e com o raio da trajetória circular através das expressões:

$$a_c = \frac{v^2}{r} \quad a_c = \frac{(\omega r)^2}{r} \quad a_c = \omega^2 r$$

- **Leis angulares horárias no movimento circular uniforme:**

– **Lei das velocidades angulares:** $\vec{\omega} = \text{constante}$

– **Lei das posições angulares:** $\theta = \theta_0 + \omega t$

Exercícios de aplicação

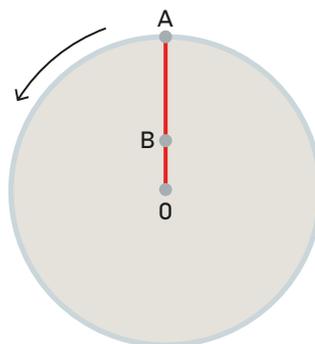
- 1** Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações.

- (A) O menor intervalo de tempo ao fim do qual o movimento de uma partícula adquire as mesmas características designa-se por frequência.
- (B) O movimento circular uniforme de uma partícula é um movimento periódico.
- (C) Num movimento circular uniforme, a velocidade é constante.
- (D) Num movimento circular uniforme, a resultante das forças é sempre perpendicular à aceleração.

- 2** Observa o disco representado na figura que roda no plano horizontal com movimento circular uniforme. A e B são dois pontos do disco.

Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações.

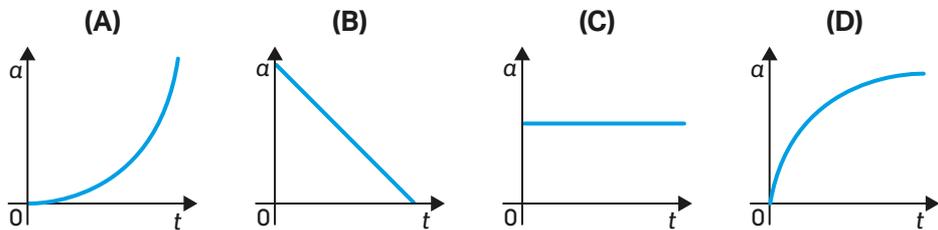
- (A) O período do movimento de A é superior ao período do movimento de B.
- (B) O módulo da velocidade angular de A é superior ao de B.
- (C) O módulo da velocidade linear de A é igual ao de B.
- (D) O módulo de aceleração centrípeta do ponto A é superior ao do ponto B.



3 Uma partícula descreve uma circunferência de 20 cm de diâmetro, efetuando 12 voltas por minuto. Determina:

- 3.1.** a frequência e o período do movimento;
- 3.2.** o módulo da velocidade linear da partícula;
- 3.3.** o módulo da velocidade angular;
- 3.4.** o módulo da aceleração centrípeta.

4 Um corpo rígido roda, em torno do seu eixo, com movimento circular uniforme. Indica o gráfico que representa a variação do valor da aceleração de um ponto da periferia do corpo, em função do tempo.



5 Duas pessoas encontram-se à superfície da Terra, uma no Equador e outra no Trópico de Câncer.

Considera o movimento de rotação da Terra em torno do seu eixo. Compara:

- 5.1.** o módulo da velocidade angular das duas pessoas;
- 5.2.** a frequência do movimento das duas pessoas;
- 5.3.** o módulo da velocidade linear;
- 5.4.** o módulo da aceleração centrípeta.

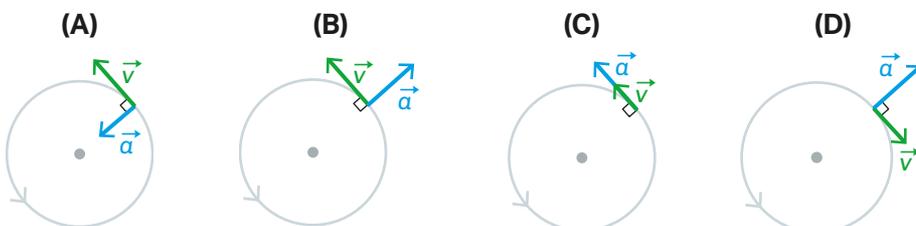


6 Uma pessoa encontra-se em repouso na superfície terrestre, na zona do Equador. Considera $R_T = 6,4 \times 10^3$ km. O valor da velocidade linear da pessoa, devido ao movimento de rotação da Terra, é:

- (A)** $1,7 \times 10 \text{ km h}^{-1}$
- (B)** $1,7 \times 10^3 \text{ km h}^{-1}$
- (C)** $1,7 \times 10^2 \text{ km h}^{-1}$
- (D)** $1,7 \times 10^6 \text{ km h}^{-1}$

Seleciona a opção correta.

- 7** Um automóvel descreve uma curva, com um raio de 150 m, à velocidade de 45 km h^{-1} .
- 7.1.** Determina o valor da aceleração centrípeta do movimento.
- 7.2.** Se o automóvel fizesse a mesma curva com o dobro da velocidade, como variava o valor da sua aceleração centrípeta? Justifica.
- 8** Considera duas pequenas esferas, A e B, com a mesma massa, a executarem um movimento circular uniforme, em que $r_A = 2 r_B$.
A esfera B realiza duas voltas completas no mesmo intervalo de tempo em que a esfera A realiza uma volta completa. Compara:
- 8.1.** o módulo da velocidade angular do movimento das duas esferas;
- 8.2.** o período do movimento das duas esferas;
- 8.3.** o módulo da velocidade linear das duas esferas;
- 8.4.** a intensidade da força centrípeta que atua em cada uma das esferas.
- 9** Uma partícula em movimento circular uniforme descreve 15 voltas por segundo. O raio da trajetória é 8,0 cm.
Seleciona a opção que completa corretamente a seguinte frase:
O seu período, o módulo da sua velocidade angular e o módulo da sua velocidade linear são, respetivamente:
- (A) 0,07 s; $30 \pi \text{ rad s}^{-1}$; $2,4 \pi \text{ m s}^{-1}$
- (B) 0,7 s; $30 \pi \text{ rad s}^{-1}$; $2,4 \pi \text{ cm s}^{-1}$
- (C) 15 s; $60 \pi \text{ rad s}^{-1}$; $240 \pi \text{ m s}^{-1}$
- (D) 15 s; $3,0 \pi \text{ rad s}^{-1}$; $240 \pi \text{ cm s}^{-1}$
- 10** Seleciona a opção que representa corretamente os vetores velocidade linear, \vec{v} , e aceleração, \vec{a} , de uma partícula em movimento circular uniforme, tal como se indica nas figuras.



2



Interações e seus efeitos sobre os movimentos

2.1. Aplicações das Leis de Newton

Subtema 2.1

Aplicações das Leis de Newton

- Fazer representação das forças que atuam em corpos em diferentes situações.
- Resolver problemas da Dinâmica, aplicando as três Leis de Newton a situações de movimento retilíneo ou de repouso de um corpo (considerando e desprezando a força de atrito).

2 Interações e seus efeitos sobre os movimentos

Ponto de partida

Vivemos num mundo de interações!

- Neste tema são introduzidos os conceitos-chave inerentes ao estudo dos sistemas dinâmicos.
- A **Mecânica** estuda os movimentos e as forças que ocorrem no quotidiano. A parte da Mecânica responsável por estudar a ação de forças no movimento de um corpo, seus efeitos e suas causas é a **Dinâmica**.
- Nestas páginas vais encontrar alguns exemplos dos contextos deste tema.



A Cinemática foi estudada por Aristóteles, no século IV a. C., que acreditava que um corpo só se manteria em movimento se sobre ele atuasse uma força.



Anos mais tarde, **Newton** (1643-1727) formulou as suas três leis. Estavam criadas as bases para a Mecânica Clássica, aplicadas..



No século XVII, **Galileu** concluiu que, na ausência de atrito, um corpo em movimento na horizontal, sujeito apenas ao seu peso e à reação normal, se move com velocidade constante.

... no conhecimento da força de atrito, imprescindível ao movimento...



... no conhecimento da força necessária para evitar que um carro desça uma estrada inclinada, ou que outro suba com velocidade constante...



... nos cabos que fazem descer ou subir as velas dos barcos...



... e muito mais, nas páginas que se seguem.

2.1. Aplicações das Leis de Newton

Conceito de força

As **forças** traduzem **interações entre corpos**. Na verdade, todos os corpos interagem devido à ação de forças. Estas aparecem sempre aos pares e em simultâneo; não há forças isoladas.

Por exemplo, se um corpo A exerce uma ação num corpo B, também o corpo B exerce uma ação no corpo A.

Na **figura 1**, podes ver uma bola de futebol a exercer uma força na rede de uma baliza e a rede da baliza a exercer simultaneamente uma força na bola.



Fig. 1 A bola e a rede da baliza interagem, exercendo simultaneamente forças uma sobre a outra.

As **forças** são grandezas vectoriais que traduzem interações entre corpos.

As **interações** entre os corpos podem ser **de contacto** ou **à distância**. Por exemplo:

Há uma **interação de contacto** quando o jogador toca na bola.



A força que o braço do jogador exerce na bola é uma força de contacto.

Há uma **interação à distância** quando os cliques são atraídos pelo íman, devido a forças magnéticas.



Os cliques são atraídos pelo íman devido a forças magnéticas que se exercem à distância.

As **forças**, sendo grandezas vectoriais, são caracterizadas por: **ponto de aplicação**, **direção**, **sentido** e **intensidade**. A **unidade SI de força** é o **newton, N**.

Lei da Ação-Reação ou Terceira Lei de Newton

Vimos que **as forças atuam sempre aos pares**. Assim, se um corpo A exerce uma força sobre um corpo B, $\vec{F}_{A/B}$, simultaneamente o corpo B exerce uma força sobre o corpo A, $\vec{F}_{B/A}$. Este **par de forças** designa-se por **par ação-reação**.

Newton traduziu esta interação na lei que designou por **Lei da Ação-Reação**, também conhecida por **Terceira Lei de Newton**.

e Manual Digital

Vídeo
3.ª Lei de
Newton



Lei da Ação-Reação: Sempre que um corpo A exerce uma força sobre um corpo B, $\vec{F}_{A/B}$, simultaneamente, o corpo B exerce uma força sobre o corpo A, $\vec{F}_{B/A}$, com o mesmo módulo e direção, mas de sentido contrário.

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

As forças de um **par ação-reação** têm que ver com a mesma interação. São **forças simétricas aplicadas em corpos diferentes**, isto é, os seus pontos de aplicação encontram-se em corpos distintos. **Daí os seus efeitos não se anularem**.

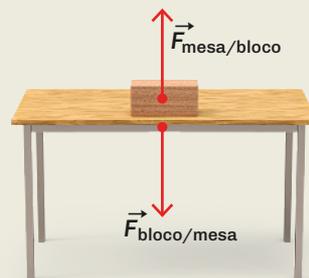
Observa as interações representadas nas figuras seguintes.

Quando um jogador dá um pontapé numa bola, exerce uma força na bola, $\vec{F}_{\text{pé}/\text{bola}}$, e, simultaneamente, a bola exerce uma força no pé do jogador, $\vec{F}_{\text{bola}/\text{pé}}$, com o mesmo módulo e direção, mas de sentido contrário. Estas forças constituem um par ação-reação.



A força que o pé exerce na bola e a que a bola exerce no pé constituem um par ação-reação.

Quando um bloco de madeira é colocado sobre uma mesa, exerce uma força na mesa, $\vec{F}_{\text{bloco}/\text{mesa}}$, devido ao seu peso. Simultaneamente, a mesa exerce uma força no bloco de madeira, $\vec{F}_{\text{mesa}/\text{bloco}}$, com o mesmo módulo e direção, mas de sentido contrário. Estas forças constituem um par ação-reação.



A força que o bloco exerce na mesa e que a mesa exerce no bloco constituem um par ação-reação.

Representação das forças que atuam em diferentes situações

• Corpo apoiado numa superfície horizontal

As **forças que atuam num corpo em repouso sobre uma mesa (Fig. 2)** são o seu **peso, \vec{P}** , força exercida pela Terra devido à interação corpo-Terra, e a **reação normal, \vec{N}** , força exercida pela mesa, devido à interação corpo-mesa.

A **reação normal, \vec{N}** , tem sempre **direção perpendicular à superfície** onde o corpo se apoia.

Estas forças, **peso, \vec{P}** , e **reação normal, \vec{N}** , têm, neste caso, o mesmo módulo e direção e os seus sentidos são opostos, mas, como atuam no mesmo corpo, **não constituem um par ação-reação**.

Uma vez que as forças atuam sempre aos pares (são interações, não há forças isoladas), temos, neste caso, **dois pares ação-reação** a considerar:

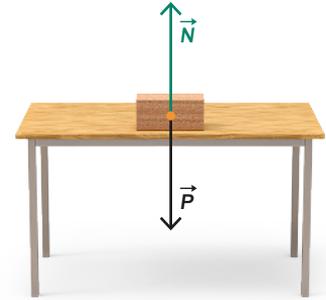


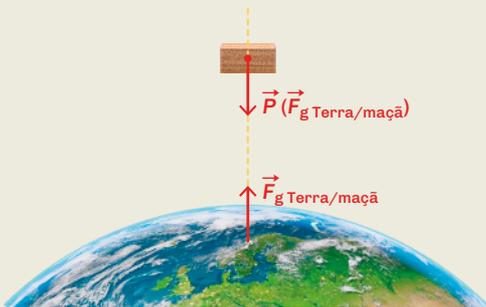
Fig. 2 As forças \vec{P} e \vec{N} , são as únicas forças que atuam no corpo em repouso sobre a mesa.

Um par ação-reação devido à interação gravítica corpo-Terra – o peso, \vec{P} , e a força gravítica exercida pelo corpo sobre a Terra, $\vec{F}_{\text{corpo/Terra}}$:

$$\vec{P} = -\vec{F}_{\text{corpo/Terra}}$$

\vec{P} – tem ponto de aplicação no corpo

$\vec{F}_{\text{corpo/Terra}}$ – tem ponto de aplicação no centro da Terra



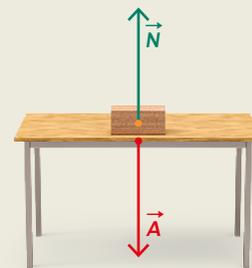
\vec{P} tem ponto de aplicação no corpo
e $\vec{F}_{\text{corpo/Terra}}$ tem ponto de aplicação no centro da Terra.

Um par ação-reação devido à interação corpo-mesa – a reação normal, \vec{N} , e a força \vec{A} exercida pelo corpo sobre a mesa:

$$\vec{N} = -\vec{A}$$

\vec{A} – tem ponto de aplicação na mesa

\vec{N} – tem ponto de aplicação no corpo



\vec{N} tem ponto de aplicação no corpo
e \vec{A} tem ponto de aplicação na mesa.

As **forças \vec{P} e \vec{N}** , aplicadas no corpo apoiado na mesa, **pertencem a pares ação-reação diferentes**.

- **Corpo apoiado num plano inclinado**

As **forças que atuam num corpo assente num plano inclinado (Fig. 3)** são o seu **peso, \vec{P}** , e a **reação normal, \vec{N}** , força exercida pelo plano inclinado, devido à interação corpo-plano inclinado.

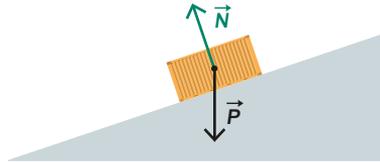


Fig. 3 As forças \vec{P} e \vec{N} aplicadas no corpo não têm a mesma direção nem o mesmo módulo.

A força de **reação normal, \vec{N}** , tem sempre direção perpendicular (normal) à superfície onde o corpo se apoia.

Neste caso, \vec{P} e \vec{N} , não têm a mesma direção nem o mesmo módulo.

- **Corpo suspenso por um fio de massa desprezável**

As **forças que atuam num corpo suspenso por um fio de massa desprezável (Fig. 4)** são o seu **peso, \vec{P}** , e a **tensão, \vec{T}** , força exercida pelo fio sobre o corpo, que o impede de cair, devido à força gravítica que a Terra exerce sobre ele.

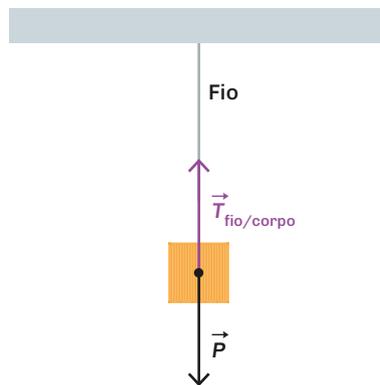


Fig. 4 As forças \vec{P} e \vec{T} aplicadas no corpo não constituem um par ação-reação.

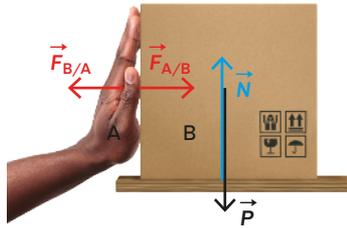
A força \vec{T} é simétrica do peso, \vec{P} , do corpo, mas, como \vec{P} e \vec{T} estão aplicadas no corpo, não constituem um par ação-reação.

- O **peso, \vec{P}** , tem como **par ação-reação a força gravítica exercida pelo corpo sobre a Terra: $\vec{P} = -\vec{F}_{\text{corpo/Terra}}$** .

- A **tensão, \vec{T}** , tem como **par ação-reação a força que o corpo exerce no fio: $\vec{T}_{\text{fio/corpo}} = -\vec{T}_{\text{corpo/fio}}$** .

Exercício resolvido

- 1 Observa a figura. \vec{N} é a força exercida pela superfície de apoio na caixa, \vec{P} é o peso da caixa, $\vec{F}_{A/B}$ é a força exercida pela mão na caixa e $\vec{F}_{B/A}$ é a força que a caixa exerce na mão.



- 1.1 Identifica duas forças que representem um par ação-reação.
- 1.2 Indica, justificando, a força que faz com o peso da caixa um par ação-reação.
- 1.3 Indica a força que representa a ação exercida pela superfície de apoio na caixa.
- 1.4 Indica a direção, sentido e ponto de aplicação da força exercida pela caixa na superfície de apoio.
- 1.5 Se cada uma das forças que atuam na caixa tiver a intensidade de 50 N, qual é a intensidade da resultante das forças que atuam na caixa?

Resolução

- 1.1. As forças de um par ação-reação são forças simétricas aplicadas em corpos diferentes. Logo, as forças $\vec{F}_{A/B}$ e $\vec{F}_{B/A}$ constituem um par ação-reação. $\vec{F}_{A/B}$ tem ponto de aplicação na caixa e $\vec{F}_{B/A}$ tem ponto de aplicação na mão.
- 1.2. A força que faz um par ação-reação com o peso da caixa é a força gravítica exercida pela caixa sobre a Terra.

$$\vec{P} = -\vec{F}_{\text{caixa/Terra}}$$

Estas duas forças são simétricas, com pontos de aplicação em corpos diferentes; \vec{P} tem ponto de aplicação na caixa (é a força exercida pela Terra sobre a caixa devido à interação caixa-Terra) e $\vec{F}_{\text{caixa/Terra}}$ tem ponto de aplicação no centro da Terra (é a força exercida pela caixa sobre a Terra devido à interação caixa-Terra).
 As forças de um par ação-reação têm que ver com a mesma interação.
- 1.3. A força que representa a ação exercida pela superfície de apoio na caixa é a força que designamos por reação normal, \vec{N} .
- 1.4. Direção, vertical; sentido, de cima para baixo; ponto de aplicação, na superfície de apoio.
- 1.5. As forças que atuam na caixa são \vec{P} , \vec{N} e $\vec{F}_{A/B}$.
 Como $\vec{P} = -\vec{N}$, a resultante das forças que atuam na caixa, \vec{F}_R , é igual a $\vec{F}_{A/B}$.
 Logo, $F_R = 50 \text{ N}$.

Lei Fundamental da Dinâmica ou Segunda Lei de Newton

Sabes já que uma **força** pode alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo, bem como causar-lhe deformação. Assim, se num corpo atuam duas ou mais forças cuja resultante é $\vec{F}_R \neq \vec{0}$, a sua velocidade varia, existindo **aceleração**.

Portanto, quando uma **força**, \vec{F} , atua num corpo, num determinado intervalo de tempo, Δt , provoca uma variação da velocidade do corpo, $\Delta \vec{v}$, ou seja, uma **aceleração**, \vec{a} .

A **figura 5** mostra o que acontece quando, nas mesmas condições, a intensidade da resultante das forças aplicadas a um carrinho é sucessivamente maior.

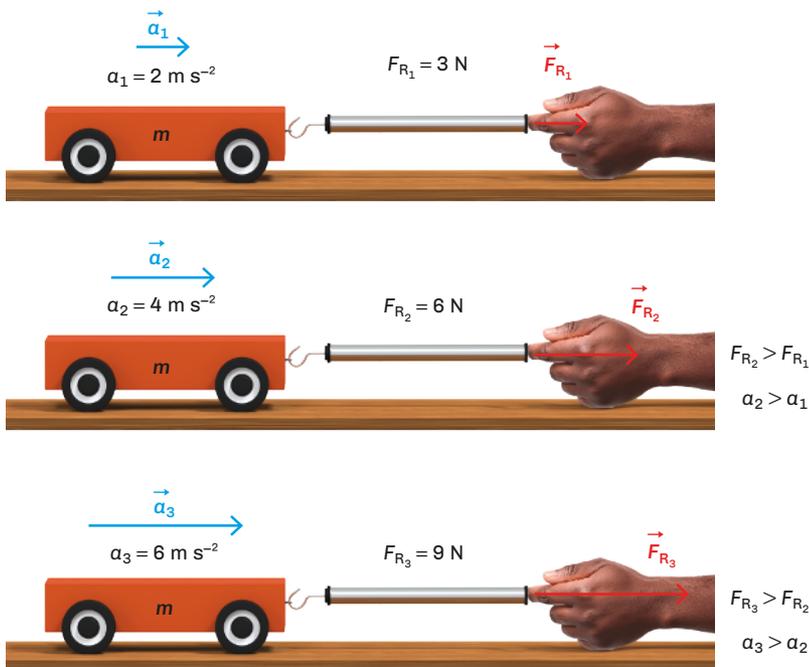


Fig. 5 Quando a intensidade da resultante das forças duplica ou triplica, a aceleração também duplica ou triplica.

É possível verificar experimentalmente que, por exemplo, quando a intensidade da resultante das forças duplica ou triplica, a aceleração também duplica ou triplica.

Logo, a **resultante das forças** que atuam num corpo é **diretamente proporcional** à **aceleração** adquirida pelo corpo, isto é, existe uma razão constante entre os valores das duas grandezas.

$$\frac{F_R}{a} = \text{constante}$$

Sendo F_R e a **diretamente proporcionais**, o **gráfico** (**Fig. 6**) que relaciona as duas grandezas é um **segmento de reta que passa pela origem dos eixos**.

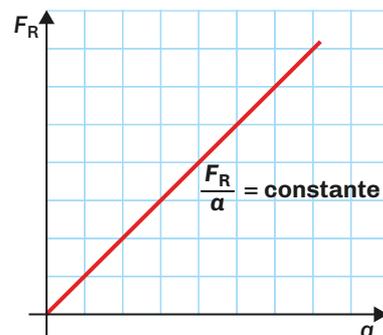


Fig. 6 A resultante das forças é diretamente proporcional à aceleração adquirida pelo corpo.

e Manual Digital

Vídeo
Resultante de um sistema de forças



Na expressão anterior, a **constante de proporcionalidade** entre a força e a aceleração é a **massa do corpo**. Logo,

$$\frac{\vec{F}_R}{a} = m \quad \text{ou} \quad \vec{F}_R = m a$$

Foi Newton quem relacionou pela primeira vez as grandezas físicas força, \vec{F}_R , e aceleração, \vec{a} , na **Lei Fundamental da Dinâmica**, também conhecida por **Segunda Lei de Newton**.

Lei Fundamental da Dinâmica: A resultante das forças, \vec{F}_R , que atuam num corpo é diretamente proporcional à aceleração, \vec{a} , que o corpo adquire.

$$\vec{F}_R = m \vec{a}$$

Inércia de um corpo

De acordo com a Lei Fundamental da Dinâmica, $\vec{F}_R = m \vec{a}$, tem-se:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_R}{m}$$

o que permite concluir que a **aceleração, \vec{a}** , adquirida por um corpo, quando sujeito a uma resultante das forças, \vec{F}_R , é **inversamente proporcional à massa, m , do corpo**.

Chama-se **inércia** à oposição que um corpo oferece à variação da sua velocidade. Pode dizer-se que a **massa de um corpo** está associada à **inércia** ou resistência que um corpo tem em alterar o seu estado de repouso ou de movimento (**Fig. 7**).



Fig. 7 É mais difícil alterar o estado de repouso ou de movimento do carrinho cheio de compras, pois, como tem maior massa, maior é a sua inércia.

Quanto **maior** for a **massa** de um corpo, **maior** é a sua **inércia**, isto é, a sua resistência à variação de velocidade.

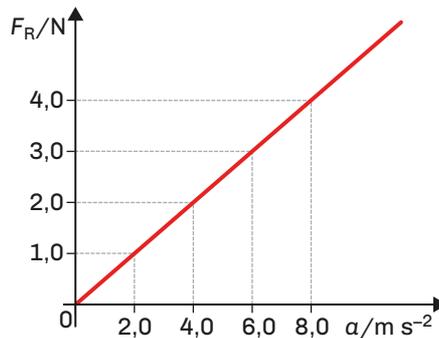


Vídeo
2.ª Lei de
Newton



Exercício resolvido

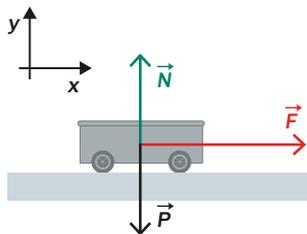
- 2 Para se medir em simultâneo a intensidade da resultante das forças que atuam num carrinho e o módulo da aceleração por ele adquirida, foi utilizado um sensor de força e um acelerómetro acoplados ao carrinho, colocado numa superfície horizontal sem atrito. Sobre o carrinho foram sucessivamente aplicadas diferentes forças horizontais.
- 2.1 Representa esquematicamente as forças que atuam no carrinho.
- 2.2 Com base no gráfico, determina a massa do carrinho.



- 2.3 Para uma dada intensidade da resultante das forças aplicadas noutra carrinho, com massa superior, a aceleração por ele adquirida seria igual à do primeiro? Justifica.

Resolução

- 2.1. As forças que atuam no carrinho são: \vec{P} , \vec{N} e \vec{F} .
 \vec{P} – peso do carrinho; \vec{N} – Reação normal da superfície;
 \vec{F} – Força aplicada



- 2.2. Sendo $\vec{F} = m \vec{a} \Rightarrow F = m a$

Como no gráfico temos uma reta que passa pela origem dos eixos, o seu declive é igual à massa do carrinho. Logo, substituindo pelos valores, tem-se:

$$\text{declive} = \frac{4,0 - 0}{8,0 - 0} \Leftrightarrow \text{declive} = 0,50 \Rightarrow m = 0,50 \text{ kg (500 g)}$$

- 2.3. Não. Como o segundo carrinho tem maior massa, para a mesma resultante das forças, a aceleração adquirida é menor. Para atingir uma mesma aceleração, a intensidade da resultante das forças teria de ser maior.

Lei da Inércia ou Primeira Lei de Newton

A **Lei da Inércia**, ou **Primeira Lei de Newton**, pode ser entendida como um caso particular da Segunda Lei de Newton, no caso de a **resultante das forças** que atuam num corpo ser **nula**.

$$\vec{F}_R = \vec{0} \Rightarrow \vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \vec{v} = \text{constante}$$

Se a **resultante das forças**, \vec{F}_R , que atuam num corpo for **nula**, então, a **aceleração**, \vec{a} , é **nula**. Sendo a **aceleração**, \vec{a} , **nula**, o corpo mantém a sua **velocidade**, \vec{v} , **constante**.

Logo:

- se o **corpo** está **em repouso**, **continua em repouso**;
- se o **corpo** está **em movimento** com uma determinada velocidade, **continua o movimento com essa velocidade**; o movimento é retilíneo uniforme.

O que acabámos de referir constitui a **Lei da Inércia** ou **Primeira Lei de Newton**, que pode ser enunciada da seguinte forma:

Lei da Inércia: Se a resultante das forças, \vec{F}_R , que atuam num corpo for nula, o corpo permanece em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, isto é, a sua velocidade permanece constante.

$$\vec{F}_R = \vec{0} \Rightarrow \vec{v} = \text{constante}$$

Muitas **situações** que ocorrem no **dia a dia** explicam-se com base na **Lei da Inércia**. Por exemplo:

Quando um **autocarro em repouso** **arranca bruscamente**, os **passageiros**, que se encontravam em repouso, são **“projetados para trás”**, pois têm tendência a permanecer em repouso.



O autocarro arranca bruscamente
– passageiros projetados para trás.

Quando um **autocarro em movimento** **trava ou acelera bruscamente**, os **passageiros**, que se encontram em movimento com a mesma velocidade do autocarro, são **“projetados para a frente ou para trás”**, respetivamente, pois têm tendência a permanecer em movimento com a mesma velocidade com que se moviam.



O autocarro trava bruscamente
– passageiros projetados para a frente.



Manual Digital
Vídeo
1.ª Lei de Newton



É por isso que, quando viajamos de automóvel, os **cintos de segurança**, os **airbags** e os **apoios de cabeça** (Fig. 8), são importantes, pois ajudam a minimizar os danos causados nos passageiros quando estes são projetados para a frente, no caso de uma travagem brusca, ou para trás, no caso de um arranque ou aceleração brusca.

Fig. 8 Cintos de segurança, *airbags* e apoios de cabeça ajudam a minimizar os danos nos passageiros quando estes são projetados para a frente.



Forças de atrito

As **forças de atrito**, \vec{F}_a , resultam da interação entre as superfícies de dois corpos em contacto, quando um desliza ou se encontra na iminência de deslizar sobre o outro.



Para melhor compreenderes o que são forças de atrito e distinguir atrito cinético de atrito estático, considera um **bloco em repouso num plano horizontal** (Fig. 9).

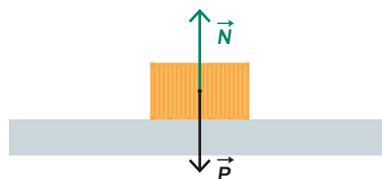


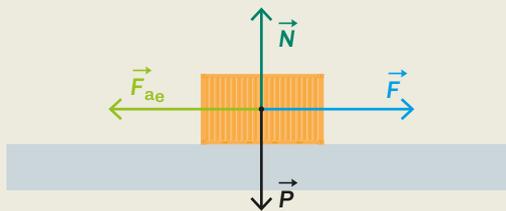
Fig. 9 Bloco em repouso num plano horizontal.

Pelo facto de o bloco estar assente no plano horizontal, está sujeito a duas forças: ao seu **peso**, \vec{P} , e à **reação normal do plano**, \vec{N} . Como estas forças são simétricas ($\vec{P} = -\vec{N}$), a **resultante das forças**, \vec{F}_r , que atuam no bloco é **nula**.

Se pretenderes colocar o bloco em movimento, aplicando-lhe uma força, \vec{F} , **paralela ao plano horizontal**, verificas que **o bloco só se move** para uma força de determinada intensidade. Isso deve-se à **força de atrito estático**, \vec{F}_{ae} , que impede o deslizamento do bloco. **A partir do momento em que o bloco entra em movimento**, a força de atrito passa a designar-se por **força de atrito cinético**, \vec{F}_{ac} .

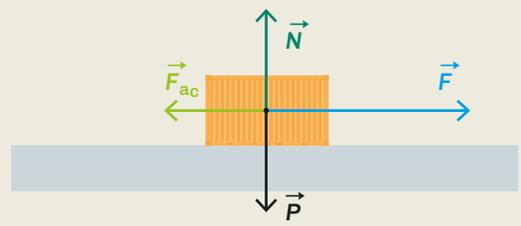
Se ao aplicarmos uma força horizontal, \vec{F} , o bloco não se mover, é porque sobre o bloco atua uma força de atrito com a mesma direção e intensidade de \vec{F} , mas de sentido contrário.

Essa força é uma **força de atrito estático**, \vec{F}_{ae} .



Bloco em repouso no plano horizontal.

Se aumentarmos a intensidade da força aplicada, \vec{F} , a força de atrito aumenta até que, para uma determinada intensidade de \vec{F} , é atingida a **força máxima de atrito estático**, $\vec{F}_{ae,max}$. A partir desse instante, o bloco começa a deslizar e a força de atrito diminui, passando a designar-se por **força de atrito cinético**, \vec{F}_{ac} .



Bloco em movimento no plano horizontal.

Será o atrito útil ou prejudicial?

As **forças de atrito** estão sempre presentes no nosso dia a dia, **podendo ser úteis ou prejudiciais**; tudo depende das situações em que se fazem sentir.

Por exemplo, quando um **veículo trava**, as rodas deixam de rodar e são as forças de atrito entre os pneus e a estrada, que se opõem ao deslizamento, que permitem diminuir a velocidade do veículo até o mesmo parar.

Quando a **aderência entre os pneus e a estrada é reduzida**, o **atrito é menor** e a **travagem é mais difícil**. É o que acontece quando os **pneus** estão em **mau estado** ou quando o **piso da estrada** está, por exemplo, **molhado** ou com **gelo**.



Fig. 10 As chuteiras têm pitões para aumentar o atrito.

Um **outro exemplo**, em que as **forças de atrito** são úteis é **quando caminhamos** ou **corremos**. É a força de atrito entre os nossos sapatos e o solo que evita que escorreguemos, permitindo uma maior aderência entre as duas superfícies.

Por exemplo, as chuteiras têm pitões (**Fig. 10**) para aumentar o atrito e, conseqüentemente, a aderência ao chão.

Repara na **figura 11**. Quando caminhamos, exercemos uma força, \vec{F} , sobre o solo, empurrando-o para trás.



Fig. 11 Sem atrito seria impossível caminhar.

A **reação, \vec{R} , do solo**, devido ao nosso peso, \vec{P} , e à força, \vec{F} , **decompõe-se** em duas componentes: a **reação normal, \vec{N}** , que equilibra o nosso peso, e a **força de atrito, \vec{F}_a** , com o sentido do movimento, **que nos empurra para a frente, fazendo-nos caminhar**.

Esta força de atrito impede os nossos pés de deslizarem, pois quando o pé empurra o solo não desliza sobre ele. É, portanto, uma força de atrito estático que, neste caso, não se opõe ao movimento; pelo contrário, é responsável pelo movimento.

As **forças de atrito** podem ser **úteis ou prejudiciais**.

Situações que envolvem um corpo sobre um plano horizontal

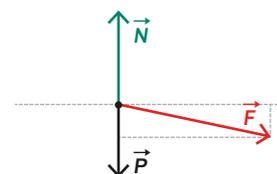
Exercícios resolvidos

- 3 Uma força \vec{F} atua sobre um bloco que se encontra em movimento numa superfície plana e polida, tal como mostra a figura.
- 3.1 Indica, num diagrama, as forças que atuam no bloco. Representa o bloco pelo seu centro de massa.
- 3.2 O módulo da reação normal do plano sobre o bloco será igual ao módulo do peso? Justifica.



Resolução

- 3.1. \vec{F} – força aplicada no bloco;
 \vec{P} – peso do bloco;
 \vec{N} – reação normal que a superfície plana exerce no bloco.



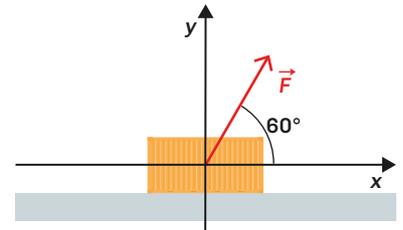
- 3.2. Não. Neste caso, o módulo da reação normal é superior ao módulo do peso, atendendo à direção e sentido da força \vec{F} . Decompondo esta força \vec{F} em duas componentes, uma segundo a direção do movimento e outra perpendicular ao movimento, a componente \vec{F}_x é a componente responsável pelo movimento e a componente \vec{F}_y , atendendo à sua direção e sentido, terá de ser tal que:

$$\vec{P} + \vec{F}_y = -\vec{N} \Rightarrow N = P + F_y$$

- 4 Um corpo, de massa 200 kg, descreve um movimento retilíneo numa superfície horizontal, sob a ação de uma força constante, \vec{F} , de intensidade 400 N, que faz um ângulo de 60° com a horizontal. Considera $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$.

- 4.1 Representa, no teu caderno, todas as forças que atuam no corpo.

- 4.2 Calcula o módulo do peso e da reação normal do plano, justificando os cálculos efetuados e valores encontrados.

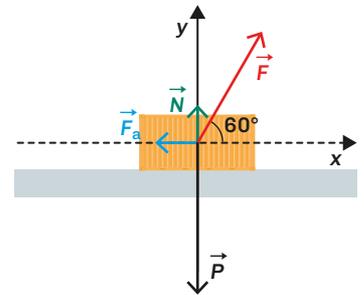


- 4.3 Calcula o módulo da força de atrito, sabendo que a componente escalar da aceleração do corpo é $a = 0,24 \text{ m s}^{-2}$.

- 4.4 Se a força atuasse na direção do movimento, qual seria a componente escalar da aceleração?

Resolução

- 4.1. \vec{F} – força aplicada no bloco; \vec{P} – peso do bloco;
 \vec{N} – reação normal que a superfície plana exerce no bloco;
 \vec{F}_a – força de atrito.



- 4.2. Sendo $P = m g$, tem-se: $P = 200 \times 9,8 \Leftrightarrow P = 2,0 \times 10^3 \text{ N}$

Quanto ao módulo da reação normal do plano, este é, neste caso, menor que o módulo do peso, atendendo à direção e sentido da força \vec{F} . Decompondo esta força \vec{F} nas duas componentes, uma segundo a direção do movimento e outra perpendicular ao movimento, verifica-se que: $\vec{N} + \vec{F}_y = -\vec{P} \Rightarrow N = P - F_y$

$$\text{Substituindo pelos valores, tem-se: } N = P - F_y \Rightarrow N = 2,0 \times 10^3 - F \sin 60^\circ \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow N = 2,0 \times 10^3 - 400 \times \sin 60^\circ \Leftrightarrow N = 1,65 \times 10^3 \text{ N}$$

Portanto $N = 1,65 \times 10^3 \text{ N} < P = 2,0 \times 10^3 \text{ N}$.

- 4.3. Como a força \vec{F} é oblíqua relativamente à direção do movimento, a componente eficaz da força, \vec{F}_x , tem a direção do eixo dos xx, sendo:

$$F_x = F \cos 60^\circ \Rightarrow F_x = 400 \times \cos 60^\circ \Leftrightarrow F_x = 200 \text{ N.}$$

Então, sabendo-se que $F_R = m a \Leftrightarrow F_x - F_a = m a$, tem-se, substituindo pelos valores: $200 - F_a = 200 \times 0,24 \Leftrightarrow F_a = 152 \text{ N}$.

- 4.4. Se a força \vec{F} atuasse na direção do movimento, a intensidade da resultante das forças seria $F_R = F - F_a$ (e não $F_R = F_x - F_a$). Substituindo pelos valores em $F_R = m a$, tinha-se: $400 - 152 = 200 \times a \Leftrightarrow a = 1,24 \text{ m s}^{-2}$.

Situações que envolvem um corpo sobre um plano inclinado

As forças que atuam num **corpo apoiado num plano inclinado** (Fig. 12), desprezando a **força de atrito** entre as superfícies do corpo e do plano, são:

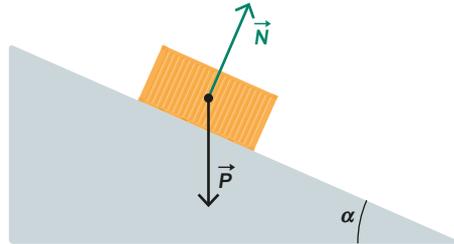


Fig. 12 Corpo apoiado num plano inclinado, em que α é o ângulo do plano inclinado com a horizontal.

- o **peso do corpo**, \vec{P} , com direção vertical e sentido de cima para baixo;
- a **força de reação normal do plano**, \vec{N} , que é a força que o plano exerce no corpo (força com direção perpendicular ao plano inclinado).

Para determinarmos a aceleração do movimento do corpo ao longo do plano inclinado, recorreremos à Segunda Lei de Newton:

$$\vec{F}_R = m \vec{a} \Rightarrow \vec{P} + \vec{N} = m \vec{a}$$

Na **figura 13A**, podes ver a direção e o sentido da resultante das forças, \vec{F}_R , que é igual à soma das forças \vec{P} e \vec{N} .

Como o **movimento** se faz **ao longo do plano inclinado**, convém, neste caso, escolher um referencial em que um dos eixos coincida com a direção e sentido do movimento do corpo, como se pode ver, na **figura 13B**.

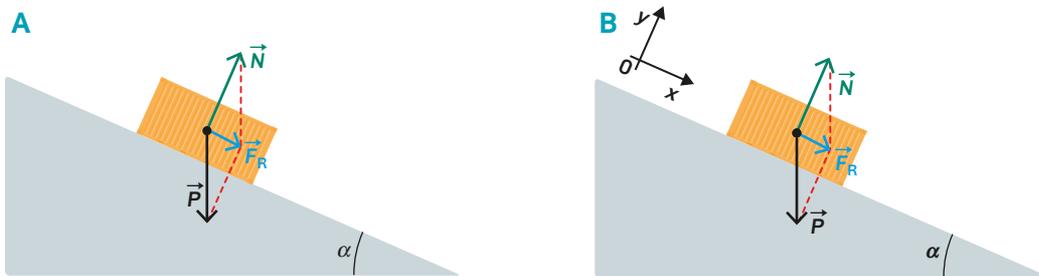


Fig. 13 A A força \vec{F}_R é igual à soma das forças \vec{P} e \vec{N} ; **B** O referencial Oxy escolhido tem o eixo dos xx coincidente com a direção e o sentido do movimento.

Decompondo \vec{F}_R e \vec{P} em duas componentes segundo as direções dos eixos dos xx e dos yy ,

$$\vec{F}_R = \vec{F}_{R_x} + \vec{F}_{R_y} \quad \text{e} \quad \vec{P} = \vec{P}_x + \vec{P}_y$$

Verifica-se que:

$$\begin{aligned} \vec{F}_{R_y} = \vec{P}_y + \vec{N} &\Rightarrow \vec{F}_{R_y} = \vec{0} \Rightarrow a_y = 0 \\ \vec{F}_{R_x} = \vec{P}_x = \vec{F}_R &\Rightarrow a_x = a \end{aligned}$$



Então, pela Segunda Lei de Newton, é:

$$\begin{cases} F_{R_x} = m a_x \\ F_{R_y} = m a_y \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_R = m a \\ F_{R_y} = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_x = m a \\ P_y = N \end{cases} \quad (1)$$

Como $P_x = P \sin \alpha$ (α é o ângulo do plano inclinado com a horizontal), substituindo em (1), tem-se:

$$P_x = m a \Leftrightarrow P \sin \alpha = m a \Leftrightarrow m g \sin \alpha = m a \Leftrightarrow \mathbf{a = g \sin \alpha}$$

A **componente escalar da aceleração** do movimento de um corpo num plano inclinado, sem atrito, é **constante**; depende do valor da aceleração gravítica no local onde o corpo se encontra e da inclinação do plano.

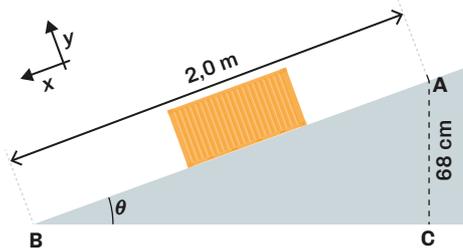
Sendo a aceleração constante, o **movimento** é **retilíneo uniformemente acelerado**.

O **movimento de um corpo abandonado num plano inclinado**, que faz um ângulo α com a horizontal e sem atrito, é um **movimento retilíneo uniformemente acelerado**, sendo a componente escalar da aceleração do movimento:

$$\mathbf{a = g \sin \alpha}$$

Exercícios resolvidos

- 5 Um corpo, de massa 5,0 kg, desliza 2,0 m ao longo de um plano inclinado, entre as posições A e B, como se representa na figura.



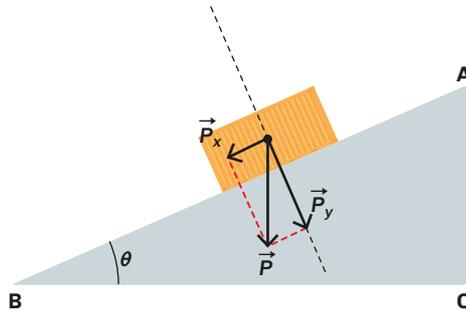
O corpo parte do repouso em A ($x_0 = 0$ m) e atinge a posição B com uma velocidade de $2,1 \text{ m s}^{-1}$.

Considera o desnível entre as posições, A e B, de 68 cm e $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$.

- 5.1 Calcula o módulo do peso e das suas componentes segundo os eixos dos xx e dos yy .
- 5.2 Calcula o módulo da resultante das forças que atuam no corpo.
- 5.3 Diz, justificando, se o corpo no seu movimento está sujeito a forças de atrito.
- 5.4 Representa, no teu caderno, todas as forças que atuam no corpo.

Resolução

5.1. Sendo $P = mg$, tem-se: $P = 5,0 \times 9,8 \Leftrightarrow P = 49 \text{ N}$.



Decompondo \vec{P} segundo as direções dos eixos dos xx e dos yy , fica:

$\vec{P} = \vec{P}_x + \vec{P}_y$, com $P_x = P \sin \theta$ (é o ângulo do plano inclinado com a horizontal) e $P_y = P \cos \theta$.

- Cálculo de P_x : $P_x = 5,0 \times 9,8 \times \frac{\overline{AC}}{\overline{AB}} \Rightarrow P_x = 49 \times \frac{0,68}{2,0} \Leftrightarrow P_x = 16,7 \text{ N}$

- Cálculo de P_y : $P_y = P \cos \theta$

Sendo $\sin \theta = \frac{\overline{AC}}{\overline{AB}} \Rightarrow \sin \theta = \frac{0,68}{2,0} \Leftrightarrow \sin \theta = 0,34 \Rightarrow \theta = 20^\circ$

Logo, tem-se: $P_y = 5,0 \times 9,8 \times \cos 20^\circ \Leftrightarrow P_y = 49 \times 0,940 \Leftrightarrow P_y = 46,1 \text{ N}$

5.2. Como o movimento do corpo é retilíneo uniformemente acelerado, podemos aplicar a equação de Torricelli para calcular a componente escalar da aceleração.

- Cálculo de a : $v^2 = v_0^2 + 2 a \Delta x \Rightarrow 2,1^2 = 0 + 2 a \times 2,0 \Leftrightarrow a = 1,1 \text{ m s}^{-2}$

- Cálculo do módulo da resultante das forças que atuam no corpo:

$$F_R = m a \Rightarrow F_R = 5,0 \times 1,1 \Leftrightarrow F_R = 5,5 \text{ N}$$

5.3. Se o corpo deslizesse num plano inclinado, sem atrito, as forças que atuariam nele seriam apenas o seu peso, \vec{P} , e a reação normal do plano, \vec{N} .

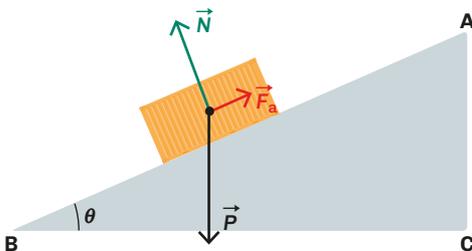
Atendendo à decomposição de \vec{P} em \vec{P}_x e \vec{P}_y , verificava-se que $\vec{P}_y = -\vec{N}$ e $\vec{F}_R = \vec{P}_x$.

Como vimos nas alíneas anteriores, é $P_x = 16,7 \text{ N}$ e $F_R = 5,5 \text{ N}$.

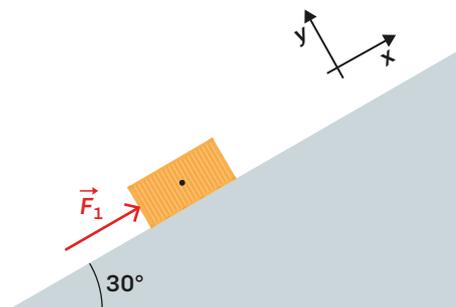
Logo, existe atrito, sendo o módulo da força de atrito igual a:

$$F_R = P_x - F_a \Rightarrow 5,5 = 16,7 - F_a \Leftrightarrow F_a = 11,2 \text{ N}$$

5.4.



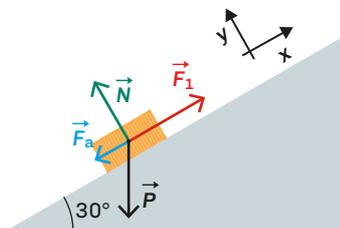
- 6 Um bloco, de massa 4,0 kg, sobe, com velocidade constante, ao longo de um plano inclinado, com atrito. A força \vec{F}_1 aplicada ao bloco, paralelamente ao plano inclinado (ver figura), tem uma intensidade de 55 N. Considera $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$.



- 6.1 Representa, no teu caderno, as forças que atuam no bloco.
- 6.2 Determina a intensidade da força de atrito.
- 6.3 Determina a intensidade da força \vec{F}_2 , paralela ao plano inclinado, que deve ser aplicada no bloco para que possa descer o mesmo plano, com velocidade constante, admitindo que a intensidade da força de atrito é constante.

Resolução

6.1.



6.2. $\vec{P} = \vec{P}_x + \vec{P}_y$

sendo $\vec{P}_y = -\vec{N}$, é $\vec{F}_R = \vec{P}_x + \vec{F}_1 + \vec{F}_a$

Como a velocidade é constante, o movimento do bloco é uniforme. Logo, $\vec{F}_R = \vec{0}$.

Se $\vec{F}_R = \vec{0}$, tem-se: $F_1 = P_x + F_a \Leftrightarrow F_1 = P \sin 30^\circ + F_a$

Substituindo pelos valores, fica:

$$55 = 4,0 \times 9,8 \times \sin 30^\circ + F_a \Leftrightarrow F_a = 55 - 19,6 \Leftrightarrow F_a = 35,4 \text{ N}$$

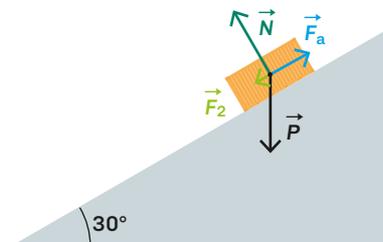
- 6.3. Neste caso, como se pretende que o bloco desça o plano, com velocidade constante, as forças aplicadas no bloco atuam como se mostra na figura.

Para $v = \text{constante}$, é $\vec{F}_R = \vec{0}$. Então, terá de ser:

$$F_a = P_x + F_2 \Leftrightarrow F_a = P \sin 30^\circ + F_2$$

Substituindo pelos valores, tem-se:

$$35,4 = 4,0 \times 9,8 \times \sin 30^\circ + F_2 \Leftrightarrow F_2 = 35,4 - 19,6 \Leftrightarrow F_2 = 15,8 \text{ N}$$



Situações que envolvem corpos ligados por um fio

• Movimento retilíneo, no plano horizontal, de dois corpos ligados por um fio

Considera **dois blocos A e B**, de massas m_A e m_B , ligados por um fio inextensível e de massa desprezável. Sobre o sistema, atua a **força horizontal \vec{F} , constante**, tal como mostra a **figura 14**. Despreza o atrito.

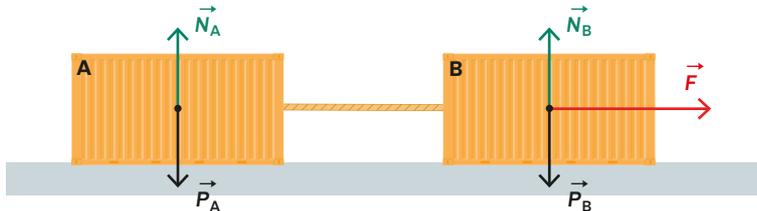


Fig. 14 Forças exteriores que atuam em dois blocos, A e B, ligados por um fio inextensível e de massa desprezável.

As **forças exteriores que atuam** no sistema dos dois blocos ligados por um fio são:

- no bloco A, são o **peso, \vec{P}_A** , e a **reação normal do plano, \vec{N}_A** ;
- no bloco B, são o **peso, \vec{P}_B** , a **reação normal do plano, \vec{N}_B** , e a **força \vec{F}** .

Neste caso, como $\vec{N}_A = -\vec{P}_A$ e $\vec{N}_B = -\vec{P}_B$, a **resultante das forças exteriores, \vec{F}_R** , coincide com a força \vec{F} : $\vec{F}_R = \vec{F}$.

Mas, como podes ver na **figura 15**, ainda atua sobre:

- o bloco A, a **tensão $\vec{T}_{B/A}$** – força com que o fio puxa o bloco A;
- o bloco B, a **tensão $\vec{T}_{A/B}$** – força com que o fio puxa o bloco B.

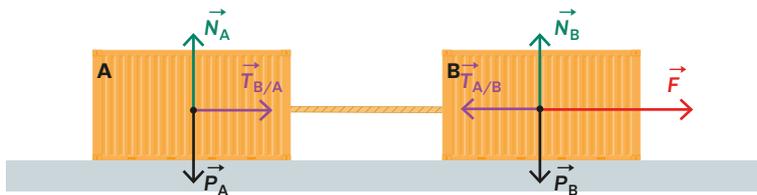


Fig. 15 Forças interiores e exteriores que atuam nos blocos A e B ligados.

As **tensões $\vec{T}_{A/B}$ e $\vec{T}_{B/A}$** são **forças de ligação interiores ao sistema** (bloco A + bloco B + fio de ligação).

Que relação haverá entre $\vec{T}_{A/B}$ e $\vec{T}_{B/A}$?

Sendo o fio inextensível e de massa desprezável, a **tensão** exercida pelo fio sobre cada um dos blocos **tem igual intensidade**.

$$|\vec{T}_{A/B}| = |\vec{T}_{B/A}|$$

Se considerarmos, agora, os dois blocos separadamente (Fig. 16) e aplicarmos a Segunda Lei de Newton a cada um deles, fazendo $|\vec{T}_{A/B}| = |\vec{T}_{B/A}| = T$, temos:

$$\begin{cases} T = m_A a & (\text{para o bloco A}) \\ F - T = m_B a & (\text{para o bloco B}) \end{cases} \quad (1)$$

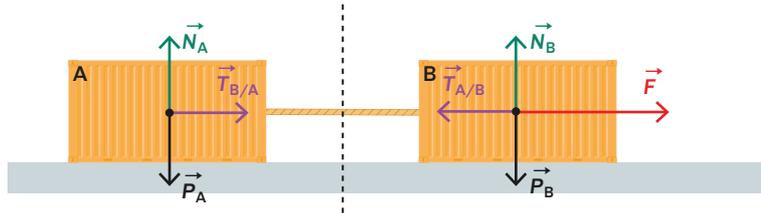


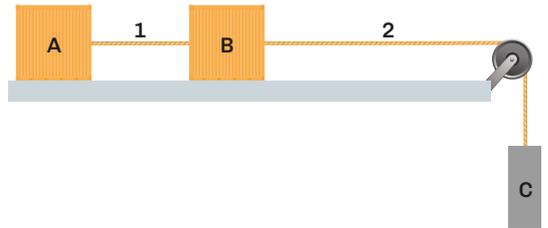
Fig. 16 Forças que atuam separadamente em cada um dos blocos.

Se conhecermos a massa dos blocos e a intensidade da força \vec{F} , por resolução do sistema de equações (1), é possível obter:

- o **módulo da aceleração** dos blocos;
- a **intensidade da tensão**, T , exercida pelo fio sobre cada um dos blocos.

Exercício resolvido

- 7 Os corpos A e B, de massas iguais a 20 kg e 10 kg, respectivamente, estão ligados por meio do fio 1, inextensível e de massa desprezável. A e B deslizam sem atrito sobre um plano horizontal, sendo a massa do cilindro C, suspenso no fio 2, também inextensível e de massa desprezável, que passa na gola da roldana, igual a 7,5 kg. Considera $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$.

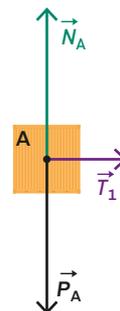


- 7.1 Representa e identifica as forças que atuam em cada um dos corpos A, B e C.
 7.2 Calcula os módulos da reação normal do plano sobre o corpo A, \vec{N}_A , da reação normal do plano sobre o corpo B, \vec{N}_B e do peso do corpo C, \vec{P}_C .
 7.3 Determina o módulo da aceleração do sistema de corpos ligados.
 7.4 Determina o módulo da tensão dos fios 1 e 2.

Resolução

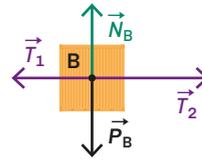
7.1. As forças que atuam no corpo A são:

- o seu peso, \vec{P}_A ;
- a reação normal do plano sobre o corpo, \vec{N}_A ;
- a tensão do fio 1, \vec{T}_1 .



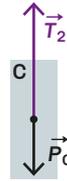
As forças que atuam no corpo B são:

- o seu peso, \vec{P}_B ;
- a reação normal do plano sobre o corpo, \vec{N}_B ;
- a tensão do fio 1, \vec{T}_1 ;
- a tensão do fio 2, \vec{T}_2 .



As forças que atuam no corpo C são:

- o seu peso, \vec{P}_C ;
- a tensão do fio 2, \vec{T}_2 .



7.2. Sendo, $\vec{N}_A = -\vec{P}_A$ e $\vec{N}_B = -\vec{P}_B$, tem-se:

$$N_A = 20 \times 9,8 \Leftrightarrow N_A = 196 \text{ N e } N_B = 10 \times 9,8 \Leftrightarrow N_B = 98 \text{ N}$$

$$\text{O módulo de } \vec{P}_C \text{ é: } P_C = 7,5 \times 9,8 \Leftrightarrow N_B = 73,5 \text{ N}$$

7.3. Atendendo a que as tensões dos fios se anulam duas a duas e que os pesos de A e de B anulam as reações normais do plano, tem-se que:

$$|\vec{F}_R| = |\vec{P}_C| \text{ e } |\vec{P}_C| = m_{\text{sist}} |\vec{a}|. \text{ Logo, } m_C \times g = (m_A + m_B + m_C) \times a$$

Substituindo pelos valores, fica:

$$7,5 \times 9,8 = (20 + 10 + 7,5) \times a \Leftrightarrow a = 2,0 \text{ m s}^{-2}$$

7.4. Cálculo do módulo da tensão do fio 1:

Aplicando a Segunda Lei de Newton ao corpo A, tem-se:

$$F_{R_A} = m_A a \Rightarrow T_1 = 20 \times 2,0 \Leftrightarrow T_1 = 40 \text{ N}$$

Cálculo do módulo da tensão do fio 2:

Aplicando a Segunda Lei de Newton ao corpo C, tem-se:

$$F_{R_C} = m_C a \Rightarrow P_C - T_2 = m_C a \Leftrightarrow T_2 = m_C(g - a) \Rightarrow T_2 = 7,5 \times (9,8 - 2,0) \Leftrightarrow T_2 = 58,5 \text{ N}$$

• Movimento retilíneo, num plano inclinado, de dois corpos ligados por um fio

Considera, agora, **dois blocos A e B, de igual massa**, ligados por um fio inextensível e de massa desprezável, que passa pela gola de uma roldana fixa, colocada no topo de um **plano inclinado**, com um ângulo de inclinação θ (**Fig. 17**). Despreza o atrito.

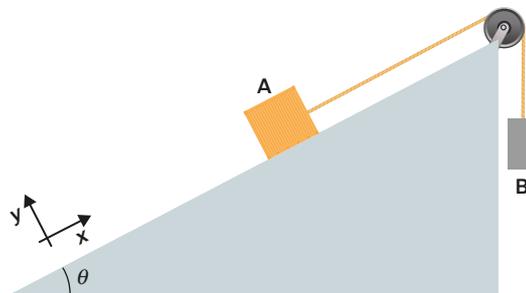


Fig. 17 Movimento, num plano inclinado, de dois corpos ligados por um fio.

O corpo A irá subir ou descer o plano inclinado?

Começemos por desenhar o **diagrama das forças que atuam nos dois blocos ligados, A e B (Fig. 18)**.

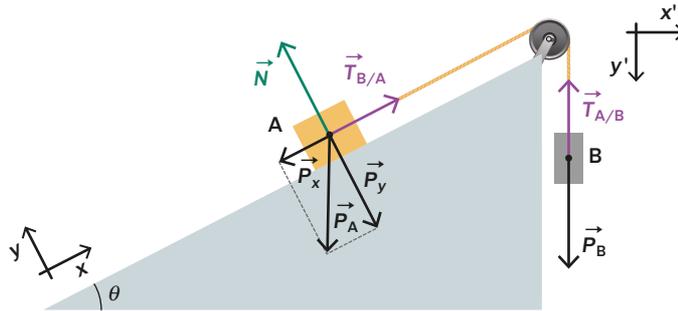


Fig. 18 Forças que atuam nos blocos A e B ligados.

Decompondo o peso do bloco A, \vec{P}_A , segundo o referencial Oxy ($\vec{P}_A = \vec{P}_x + \vec{P}_y$), verifica-se que o **módulo da resultante das forças exteriores aplicadas ao sistema** é:
 $F_R = P_B - P_x$

Como neste caso é: $P_B = m g$ e $P_x = m g \sin \theta$ ($m_A = m_B = m$), tem-se $P_B > P_x$, o que permite concluir que **o bloco A sobe o plano inclinado**.

Se considerarmos, agora, os dois blocos separadamente e aplicarmos a Segunda Lei de Newton a cada um deles, fazendo $|\vec{T}_{A/B}| = |\vec{T}_{B/A}| = T$, temos:

$$\begin{cases} P_B - T = m a \\ T - P_A \sin \theta = m a \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} m g - T = m a \\ T - m g \sin \theta = m a \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T = m g - m a \\ T - m g \sin \theta = m a \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T = m (g - a) \\ a = \frac{1 - \sin \theta}{2} g \end{cases}$$

Se conhecermos a massa dos blocos, por resolução deste sistema de equações, é possível obter:

- o **módulo da aceleração** dos blocos;
- o **módulo da tensão, T**, exercida pelo fio sobre cada um dos blocos A e B.

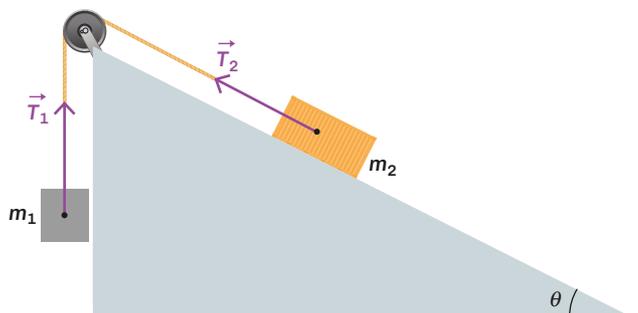
Exercícios resolvidos

8 Na figura podes ver um plano inclinado, no qual os blocos de massas m_1 e m_2 estão em equilíbrio ($\vec{F}_R = \vec{0}$). Seja θ o ângulo de inclinação do plano e T_1 e T_2 os módulos da tensão que o fio, inextensível e de massa desprezável, exerce nos blocos.

Despreza o atrito.

Sabendo que $m_2 = 2 m_1$, podes afirmar que:

- (A) $T_1 > T_2$ e $\theta = 30^\circ$
- (B) $T_1 = T_2$ e $\theta = 60^\circ$
- (C) $T_1 = T_2$ e $\theta = 30^\circ$
- (D) $T_1 > T_2$ e $\theta = 60^\circ$



Resolução

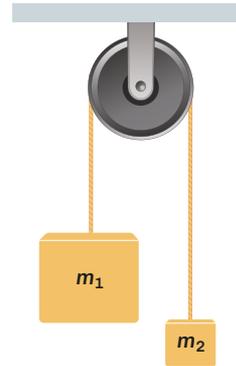
8. Sendo o fio inextensível e de massa desprezável, a tensão exercida pelo fio sobre cada um dos blocos tem igual intensidade. Logo, $T_1 = T_2$.

Decompondo o peso do bloco 2, \vec{P}_2 , segundo a direção do plano inclinado e a da normal ao plano ($\vec{P}_2 = \vec{P}_{2x} + \vec{P}_{2y}$), verifica-se que, estando os blocos 1 e 2 em equilíbrio, $P_1 = T_1$ e $P_{2x} = T_2$; sendo $T_1 = T_2$, isto implica que $m_1 g = m_2 g \sin \theta \Leftrightarrow m_1 = m_2 \sin \theta$.

Como $m_2 = 2 m_1$, fica: $m_1 = 2 m_1 \sin \theta \Leftrightarrow \sin \theta = 0,5 \Rightarrow \theta = 30^\circ$.

Logo, a opção correta é a (C).

9. Considera o dispositivo representado na figura, constituído por dois corpos ligados através de um fio inextensível e de massa desprezável, que passa pela gola de uma roldana fixa com atrito desprezável, conhecido por máquina de Atwood. Considera $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$.



- 9.1 Calcula o módulo da aceleração do sistema, sabendo que, partindo do repouso, atinge a velocidade de $4,0 \text{ m s}^{-1}$, ao fim de $3,0 \text{ s}$ de movimento.
- 9.2 Deduz uma expressão para o módulo da aceleração do sistema em função de m_1 , m_2 e g .
- 9.3 Relaciona o valor das massas dos dois corpos (m_1 e m_2).
- 9.4 Calcula o módulo da tensão do fio de ligação, T . Considera $m_1 = 5,7 \text{ kg}$.

Resolução

- 9.1 Sendo $v = v_0 + a t$, substituindo pelos valores, tem-se:
 $4,0 = 0 + a \times 3,0 \Leftrightarrow a = 1,3 \text{ m s}^{-2}$
- 9.2 Aplicando a Segunda Lei de Newton ao sistema dos dois corpos ligados e admitindo que $P_1 > P_2$, temos:
 $F_R = (m_1 + m_2)a \Leftrightarrow P_1 - P_2 = (m_1 + m_2)a \Leftrightarrow$
 $\Leftrightarrow m_1 g - m_2 g = (m_1 + m_2)a \Leftrightarrow a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g \quad \text{(1)}$
- 9.3 Sendo $a = 1,3 \text{ m s}^{-2}$ e $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$, substituindo na expressão (1), tem-se:
 $1,3 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \times 9,8 \Leftrightarrow \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} = \frac{1,3}{9,8} \Leftrightarrow m_1 - m_2 = 0,13 \times (m_1 + m_2) \Leftrightarrow$
 $\Leftrightarrow 0,87 m_1 = 1,13 m_2 \Leftrightarrow m_1 = 1,3 m_2$
- 9.4 Aplicando a Segunda Lei de Newton ao corpo de massa 1, fica:
 $P_1 - T = m_1 a \Rightarrow 5,7 \times 9,8 - T = 5,7 \times 1,3 \Leftrightarrow T = 48,5 \text{ N}$

Atividade prática 3: Determinar, experimentalmente, a intensidade da força de atrito estático e cinético.

Introdução

Porque será mais fácil empurrar um caixote depois de ele entrar em movimento do que quando está parado?

Material e equipamento

- Bloco + fio + roldana + copo
- Grãos de areia (ou pequenas esferas)
- Balança
- Cronómetro
- Fita adesiva colorida e fita métrica



Procedimento 1

- 1 Pesar e registar a massa do bloco.
- 2 Colocar o bloco, preso na extremidade de um fio, e suspender o copo, preso na outra extremidade, passando o fio pela roldana, conforme ilustrado na figura.
- 3 Adicionar gradualmente grãos de areia, ou pequenas esferas, até o bloco ficar na iminência de entrar em movimento. Pesar o conjunto *copo + grãos de areia* e registar o seu valor.
- 4 Repetir novamente o procedimento anterior, pelo menos mais quatro vezes.

Procedimento 2

- 1 Colocar agora no copo uma massa de areia suficiente para o bloco adquirir um movimento acelerado.
- 2 Registar o peso do conjunto *copo + grãos*.
- 3 Enquanto se segura o bloco, suspender o copo com os grãos. Se necessário, deslocar o bloco de maneira que o copo fique na posição mais alta. Certificar que o fio preso ao bloco fica paralelo à mesa. Com uma fita adesiva colorida, marcar a posição inicial do bloco e, com outra fita adesiva colorida, marcar a posição que o bloco em movimento atinge, imediatamente antes de o copo suspenso chegar ao solo. Registar essa distância.
- 4 Largar o bloco e medir, com um cronómetro, o tempo que este demora a percorrer a distância fixa entre as duas marcas.
- 5 Repetir novamente o procedimento anterior, pelo menos mais quatro vezes.

Exploração dos resultados

- Com os valores obtidos no procedimento 1, calcular o valor médio da massa do conjunto suspenso e, com esse valor, calcular o módulo da força de atrito estático.
- Com os valores registados no procedimento 2, calcular o valor médio da aceleração e, com esse valor, calcular o módulo da força de atrito cinético.
- Comparar os valores da força de atrito estático e de atrito cinético.

Atividade prática 4: Determinar, experimentalmente, a aceleração de um sistema de corpos ligados.

Introdução

O físico e matemático inglês George Atwood inventou uma máquina que ficou conhecida como a máquina de Atwood. Esta consiste num sistema de corpos, de massas diferentes, ligados por um fio inextensível e de massa desprezável, que passa pela gola de uma roldana fixa com muito pouco atrito.

Um sistema de corpos ligados, tal como a máquina de Atwood, permite reduzir a aceleração da queda de um corpo. Variando a relação entre as massas dos corpos ligados, é possível ajustar a aceleração do sistema entre 0 e g .

Material e equipamento

- Suporte universal, nozes e garras
- Suporte com régua graduada
- Roldana leve, com pouco atrito, e fio inextensível de massa desprezável
- Massas marcadas (100 g, 50 g, 20 g, 10 g, 5 g) ou discos perfurados que possam deslizar no fio da roldana
- Balança
- Cronómetro

Procedimento

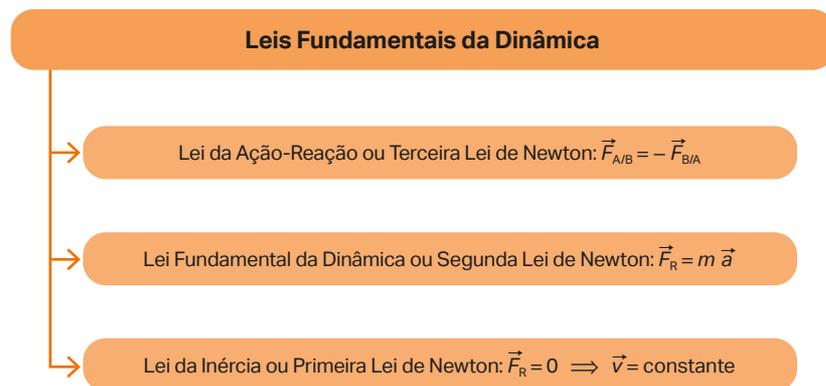
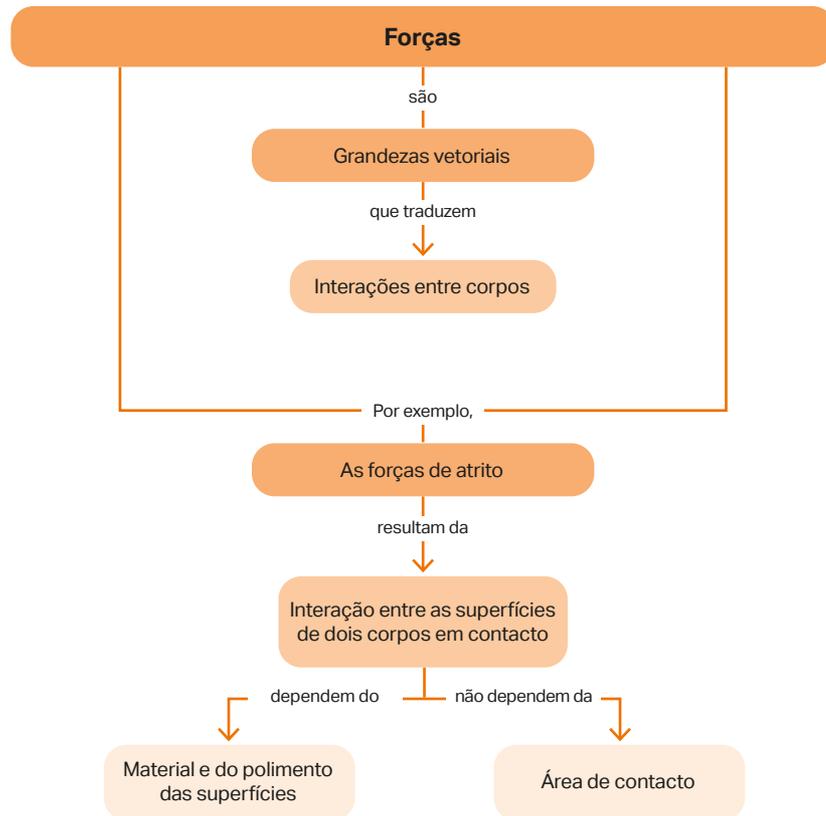
- 1 Fixar a roldana ao suporte universal.
- 2 Suspender na roldana, através do fio inextensível e de massa desprezável, duas massas marcadas iguais.
- 3 Com uma balança, determinar a massa média de um disco perfurado, que serão usados para variar as massas suspensas.
- 4 Colocar sobre as massas marcadas os discos perfurados (para poderem deslizar no fio quando se pretender variar a massa dos corpos ligados) que utilizar no ensaio.
- 5 Colocar, na vertical, a régua graduada para medir a distância que o conjunto mais pesado (*massa marcada + discos perfurados*) percorre, entre duas marcas.
- 6 Medir o tempo que o conjunto demora a percorrer essa distância definida.
- 7 Repetir este procedimento pelo menos mais cinco vezes.
- 8 Repetir os procedimentos anteriores, fazendo variar a diferença entre massas, com $m_1 + m_2$ constante; e variando a massa total, com $m_1 - m_2$ constante.



Exploração dos resultados

- Efetuar os cálculos necessários para determinar o módulo da aceleração.
- Efetuar os cálculos necessários para determinar o módulo da tensão do fio.
- Usar uma calculadora gráfica virtual num telemóvel, traçar e interpretar os gráficos:
 - aceleração em função da soma das massas;
 - aceleração em função da diferença das massas.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- As **forças** são grandezas vectoriais que traduzem interações entre corpos. Sendo grandezas vectoriais, são caracterizadas por: ponto de aplicação, direcção, sentido e intensidade. A **unidade SI** de força é o **newton, N**.

- Lei da Ação-Reação:** Sempre que um corpo A exerce uma força sobre um corpo B, $\vec{F}_{A/B}$, simultaneamente, o corpo B exerce uma força sobre o corpo A, $\vec{F}_{B/A}$, com o mesmo módulo e direcção, mas de sentido contrário.

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

- As **forças de um par ação-reação** são forças simétricas aplicadas em corpos diferentes.
- As **forças \vec{P} e \vec{N}** aplicadas num corpo apoiado numa mesa **pertencem a pares ação-reação diferentes**.
- Lei Fundamental da Dinâmica:** A resultante das forças, \vec{F}_R , que atuam num corpo é diretamente proporcional à aceleração, \vec{a} , que o corpo adquire.

$$\vec{F}_R = m \vec{a}$$

- Quanto **maior** for a **massa** de um corpo, **maior** é a sua **inércia**, isto é, a sua resistência à variação de velocidade.
- Lei da Inércia:** Se a resultante das forças, \vec{F}_R , que atuam num corpo for nula, o corpo permanece em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, isto é, a sua velocidade permanece constante.

$$\vec{F}_R = \vec{0} \Rightarrow \vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \vec{v} = \text{constante}$$

- As **forças de atrito, \vec{F}_a** , resultam da interação entre as superfícies de dois corpos em contacto, quando um desliza ou se encontra na iminência de deslizar sobre o outro. Estas forças:

- **dependem do material e do polimento** das superfícies em contacto;
- **não dependem da área de contacto** das superfícies.

- As **forças de atrito** estão sempre presentes no nosso dia a dia, **podendo ser úteis ou prejudiciais**; tudo depende das situações em que se fazem sentir.
- O **movimento de um corpo abandonado num plano inclinado**, que faz um ângulo α com a horizontal e sem atrito, é um **movimento retilíneo uniformemente acelerado**, sendo a componente escalar da aceleração do movimento:

$$a = g \sin \alpha$$

- No caso do movimento de dois corpos, A e B, ligados por um fio inextensível e de massa desprezável, a **tensão exercida pelo fio** sobre cada um dos blocos **tem igual intensidade**. $|\vec{T}_{A/B}| = |\vec{T}_{B/A}|$.

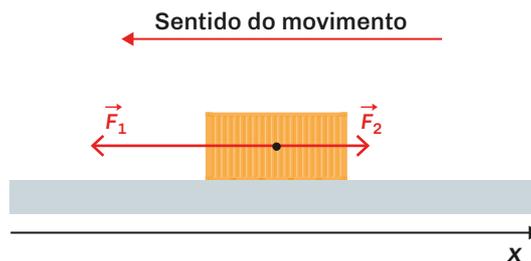
As **tensões $\vec{T}_{A/B}$ e $\vec{T}_{B/A}$** são **forças de ligação interiores** ao sistema (corpo A + corpo B + fio de ligação).

Exercícios de aplicação

1 Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações.

- (A) A resultante das forças que atuam sobre um corpo é diretamente proporcional à aceleração adquirida pelo corpo.
- (B) A aceleração adquirida por um corpo é diretamente proporcional à resultante das forças que sobre ele atuam.
- (C) O módulo da resultante das forças que atuam sobre um corpo de massa constante é diretamente proporcional ao módulo da velocidade do corpo.
- (D) Um corpo só se mantém em movimento se a resultante das forças que sobre ele atuam não for nula.

2 Um bloco, de massa 400 g, encontra-se em movimento retilíneo numa superfície horizontal sem atrito, sob a ação de duas forças, \vec{F}_1 e \vec{F}_2 , com a direção do movimento, sentidos opostos e intensidades, respetivamente, 5,0 N e 2,4 N.



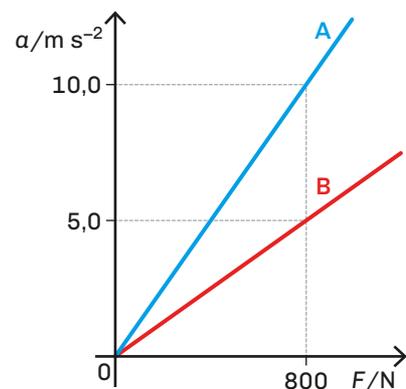
Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações, corrigindo as falsas.

- (A) O módulo da resultante das forças é 2,6 N.
- (B) A componente escalar da aceleração é $-12,5 \text{ m s}^{-2}$.
- (C) O movimento do bloco é retilíneo retardado.
- (D) As componentes escalares da aceleração e da velocidade são negativas.

3 O gráfico da figura refere-se ao movimento retilíneo de dois corpos, A e B, numa superfície horizontal.

Seleciona a opção correta.

- (A) Os corpos A e B possuem a mesma massa.
- (B) A massa do corpo B é igual ao dobro da massa do corpo A.
- (C) A massa de A é superior à massa de B.
- (D) O declive de cada uma das retas no gráfico aceleração-força, $a = f(F)$, é igual à massa do respetivo corpo.



- 4** Um automóvel, de massa 800 kg, movimentava-se, numa estrada retilínea, à velocidade de $72,0 \text{ km h}^{-1}$. Por se estar a aproximar de uma rotunda, reduziu a sua velocidade para $43,2 \text{ km h}^{-1}$, em 8,0 s de movimento. Considera o sentido positivo do referencial Ox coincidente com o sentido do movimento.

Determina:

- 4.1.** a componente escalar da variação da velocidade do automóvel;
4.2. a componente escalar da aceleração média;
4.3. as características da resultante das forças (constante) que atuam no automóvel, nos 8,0 s de travagem.

- 5** Faz a correspondência correta entre as duas colunas.

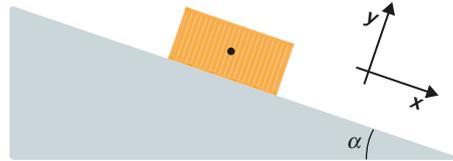
Coluna A	Coluna B
(A) Primeira Lei de Newton	(I) A resultante das forças, \vec{F}_R , que atuam num corpo é diretamente proporcional à aceleração, \vec{a} , que o corpo adquire.
(B) Segunda Lei de Newton	(II) Sempre que um corpo A exerce uma força sobre um corpo B, simultaneamente, o corpo B exerce uma força sobre o corpo A, com o mesmo módulo e direção, mas de sentido contrário.
(C) Terceira Lei de Newton	(III) Se a resultante das forças que atuam num corpo for nula, o corpo permanece em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

- 6** Um automóvel, de massa 1200 kg, estava a deslocar-se numa estrada retilínea à velocidade de 72 km h^{-1} quando o seu condutor começou a travar até parar. O condutor do automóvel conseguiu travar com uma aceleração constante, parando decorridos 5,4 s de movimento.

- 6.1.** Calcula o módulo da aceleração do automóvel durante a travagem.
6.2. Caracteriza a força de travagem.
6.3. Para a mesma força de travagem, qual seria o módulo da aceleração se a massa do automóvel fosse duas vezes menor?

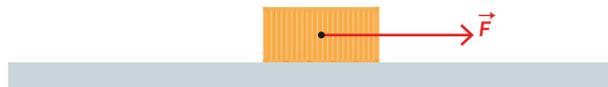
Justifica.

- 7** Considera um corpo homogêneo, inicialmente em repouso, num plano inclinado sem atrito.



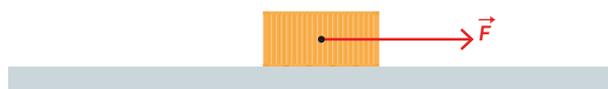
- 7.1.** Representa, no teu caderno diário, as forças que atuam no corpo.
- 7.2.** Caracteriza cada uma das forças que atuam no corpo.
- 7.3.** Representa, no teu caderno diário, a resultante das forças que atuam no corpo.
- 7.4.** Considerando o referencial indicado na figura, deduz as expressões que nos permitem calcular os módulos das componentes \vec{F}_{R_x} e \vec{F}_{R_y} da resultante das forças que atuam no corpo.

- 8** Um bloco de madeira encontra-se em movimento sobre um plano horizontal com atrito, por ação de uma força \vec{F} horizontal, que atua da esquerda para a direita.



- 8.1.** Representa, no teu caderno diário, as forças que atuam no bloco. Considera as forças aplicadas no centro de massa do bloco.
- 8.2.** Identifica as interações responsáveis por essas forças.
- 8.3.** Indica as forças que atuam no corpo e que, neste caso, contribuem para o seu movimento.

- 9** A figura apresenta uma caixa, de massa m , que se move sobre um plano horizontal, por ação de uma força \vec{F} de intensidade 25 N. A intensidade da força de atrito é 14 N e o centro de massa da caixa descreve uma trajetória retilínea.



Sabendo que a caixa adquiriu a aceleração de $2,0 \text{ m s}^{-2}$, calcula a sua massa.

3



Energia e movimento

3.1. Noções básicas sobre energia e sua importância

3.2. Trabalho realizado por forças

3.3. Teorema do trabalho e energia cinética

3.4. Teorema do trabalho e energia potencial

3.5. Forças conservativas e não conservativas.
Conservação da energia mecânica

Subtema 3.1

Noções básicas sobre energia e sua importância

- Entender o significado físico da energia
- Compreender a importância da energia no dia a dia.
- Definir um sistema físico.
- Diferenciar os diferentes tipos de sistemas.
- Referir as diferentes formas de manifestação de energia.
- Indicar as duas formas essenciais de energia.

Subtema 3.2

Trabalho realizado por forças

- Identificar o trabalho como medida da energia transferida entre sistemas.
- Calcular o trabalho realizado por diversos tipos de forças que atuam sobre um corpo.

Subtema 3.3

Teorema do trabalho e energia cinética

- Definir o conceito de energia cinética.
- Estabelecer a relação entre trabalho e energia cinética e aplicar essa relação na resolução de exercícios.

Subtema 3.4

Teorema do trabalho e energia potencial

- Definir o conceito da energia potencial.
- Estabelecer a relação entre trabalho do peso e a variação da energia potencial gravítica (sistema corpo + Terra) e aplicar essa relação na resolução de exercícios.

Subtema 3.5

Forças conservativas e não conservativas.
Conservação da energia mecânica

- Distinguir forças conservativas e forças não conservativas.
- Definir o conceito de energia mecânica.
- Enunciar e aplicar o princípio da conservação da energia mecânica.

3

Energia e movimento

Ponto de partida

- Neste tema são introduzidas noções básicas sobre energia e sua importância, bem como os conceitos de trabalho, de energia cinética, de energia potencial e de energia mecânica.
- A Física gera conhecimentos fundamentais necessários para os futuros avanços tecnológicos e melhora a nossa qualidade de vida, no desenvolvimento de novos instrumentos e técnicas.
- Nestas páginas vais encontrar alguns contextos deste tema...



Dependemos dos combustíveis fósseis não renováveis, apesar dos perigos na sua obtenção e no seu transporte.



A energia move o mundo, impulsionando o progresso, unindo pessoas e alimentando o futuro.



Na procura de alternativas sustentáveis, recorre-se cada vez mais às energias renováveis.

A Física é importante no estudo da grandeza física trabalho de uma força...



... no estudo de movimentos, como por exemplo, ao longo de um plano inclinado.

... no estudo do movimento e das transformações de energia numa montanha-russa, que proporcionam energias cinéticas verdadeiramente empolgantes, mas seguras para o utilizador.



... no estudo de interações gravíticas entre os corpos e a Terra, correndo ao conceito de energia potencial gravítica.

... e muito mais, nas páginas que se seguem.



3.1. Noções básicas sobre energia e sua importância

Energia

A **energia** está presente em tudo o que fazemos e utilizamos. No dia a dia, todos falamos dela, pois todos os corpos têm energia e todas as atividades envolvem energia.

Mas, afinal, o que é a energia?

A **energia é algo que todos sabemos o que é**, mas temos dificuldade em definir. Podemos dizer, de forma simples, que é uma **propriedade de todos os corpos** e que se manifesta de diferentes modos, sendo **detetada pelos efeitos que produz**.

A **energia manifesta-se**, por exemplo, quando o Sol nos aquece, um vulcão entra em atividade (**Fig. 1A**), a lenha arde (**Fig. 1B**), etc., mas também se manifesta quando conversamos, caminhamos, corremos ou praticamos desporto (**Fig. 1C**).



Fig. 1 Manifestações de energia.

A **energia** é uma propriedade de todos os corpos, que se manifesta de diferentes modos, sendo detetada pelos efeitos que produz.

A importância da energia no dia a dia

O crescimento demográfico, a industrialização e o desenvolvimento social, económico e tecnológico, têm feito com que **a população mundial necessite cada vez mais de energia**. Sabemos, também, que há grandes diferenças no consumo de energia nos diversos países e entre os habitantes de um mesmo país.

Mas, enquanto **as necessidades energéticas crescem**, os recursos energéticos, como o petróleo, o carvão e o gás natural escasseiam. **Daí a importância de uma utilização racional dos recursos energéticos**.

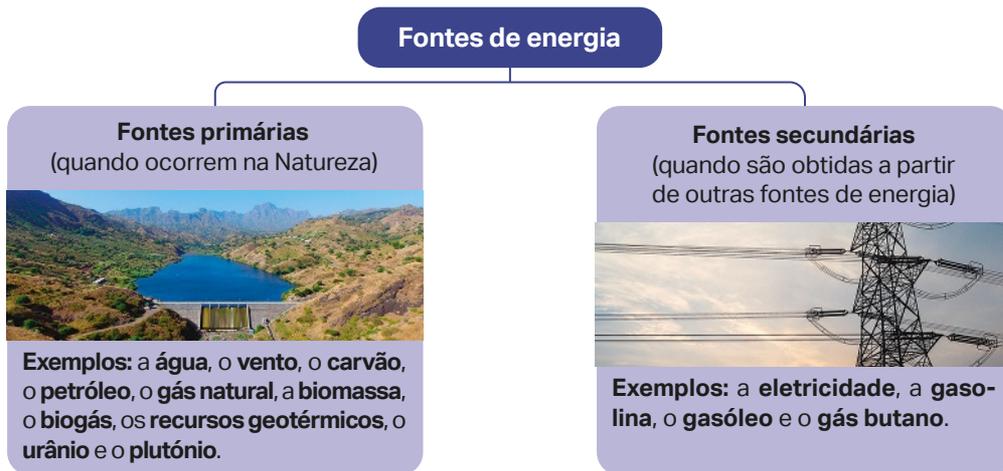
Também a **necessidade de reduzir o impacte ambiental dos combustíveis fósseis**, em termos de poluição e de alterações climáticas, tem contribuído para a substituição, embora gradual, destes combustíveis por fontes de energia renováveis.

A população mundial necessita cada vez mais de energia, devido ao crescimento demográfico, industrialização e desenvolvimento social, económico e tecnológico. **Daí a importância de uma utilização racional dos recursos energéticos.**

Fontes de energia

A **principal fonte de energia** do planeta Terra é o **Sol**. Sem a sua energia não existiria vida na Terra. Mas, para além do Sol, o ser humano dispõe de outras fontes de energia.

As **fontes de energia** podem ser **primárias** ou **secundárias**.



No caso da **eletricidade**, esta é transformada a partir de outras formas de energia nas **centrais elétricas**, que têm designações diferentes conforme a fonte de energia utilizada.

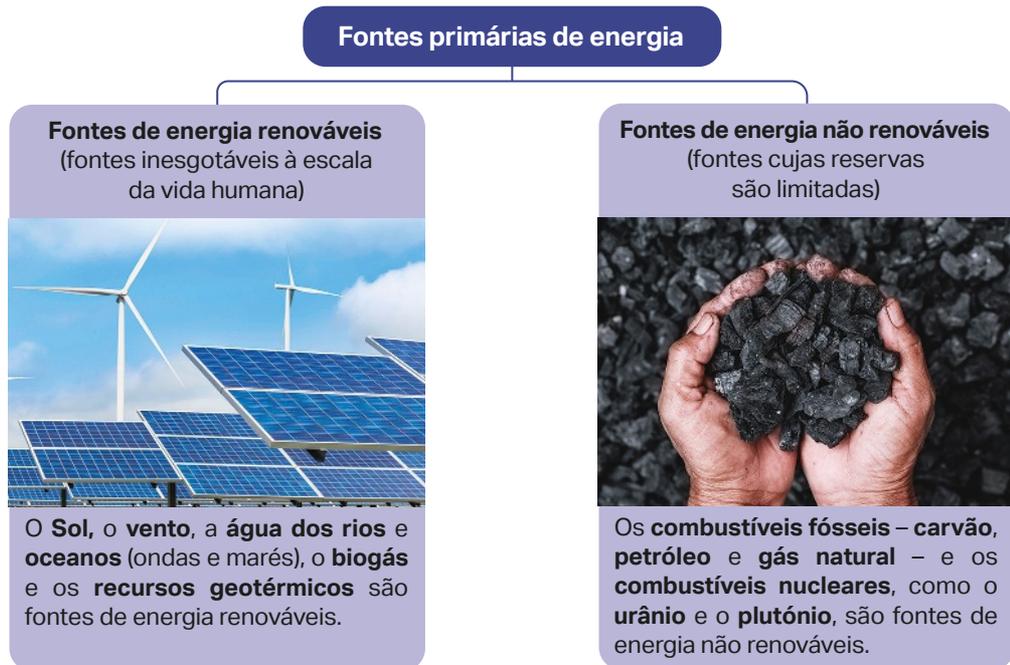
Assim, a **energia elétrica é produzida com recurso:**



Fig. 2 A eletricidade é produzida com recurso a diferentes fontes de energia.

Fontes de energia renováveis e não renováveis

As fontes primárias de energia podem ser classificadas em renováveis e não renováveis.



Fontes de energia renováveis

Vantagens

- Inesgotáveis à escala da vida humana.
- Reduzido impacto ambiental, nomeadamente na emissão de gases com efeito de estufa.
- Conferem autonomia energética a um país, reduzindo a dependência do exterior.
- Promovem o desenvolvimento económico e social.
- Contribuem para um desenvolvimento sustentável.

Desvantagens

- Elevado custo de investimento e em infraestruturas adequadas.
- Em geral, apresentam baixo rendimento em comparação com as fontes não renováveis.
- Podem causar impacto ambiental negativo (por exemplo, visual, auditivo e na biodiversidade das espécies).
- Disponibilidade dependente de condições climáticas, não controláveis pelo ser humano.
- Não podem ser exploradas em qualquer zona do planeta.

Fontes de energia não renováveis

Vantagens

- Tecnologia amplamente difundida.
- Elevado rendimento energético.



Desvantagens

- Elevado custo de investimento e em infraestruturas adequadas.
- Elevado tempo de construção.
- Reservas limitadas.
- Perigos na obtenção e transporte.
- Elevado impacto ambiental, destacando-se as emissões de dióxido de carbono, um gás com efeito de estufa.
- Elevada dependência energética em relação aos países produtores.

A situação energética em Cabo Verde

De acordo com as metas anunciadas pelo Governo, **Cabo Verde pretende atingir 30% da produção de energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis até 2026, ultrapassar 50% até 2030 e atingir quase 100% em 2040.**

A transição energética é fundamental para que o preço da energia baixe em Cabo Verde, uma vez que é maioritariamente (cerca de 80%) produzida em centrais elétricas a gásóleo, acumulando, por isso, o alto custo dos combustíveis no seu valor final, para além da poluição ambiental.

O **Governo cabo-verdiano pretende**, assim, **reforçar a produção de energia elétrica a partir de fontes de energia renováveis** (produção solar), iniciando as obras de construção do Parque Solar Fotovoltaico da ilha de São Vicente. A par deste parque, outros de menores dimensões serão instalados nas ilhas de Santo Antão, Fogo, Maio, São Nicolau e Brava, de acordo com o plano do executivo.

(texto adaptado de Economia, Cabo Verde, 07/04/24, por LUSA)

Fig.3 Parque solar fotovoltaico.



Transferências de energia

No dia a dia, quando observamos manifestações de energia, também estamos a observar **transferências de energia**.

Por exemplo, num hipermercado, quando empurramos um carro de compras (Fig. 4), transferimos energia para o carro.

Para compreenderes as transferências de energia, é importante saberes o que é um **sistema físico**.

Em Física, chama-se **sistema** a um corpo ou conjunto de corpos que queremos estudar.



Fig. 4 Quando empurramos um carro de compras, transferimos energia para o carro.

Um **sistema físico** é um corpo ou conjunto de corpos que queremos estudar.



Qualquer sistema tem energia (interna).

A energia (interna) associada a um sistema não isolado pode ser em parte transferida para outro sistema. Assim, **numa transferência de energia**, a energia transfere-se de um sistema designado por **fonte** para outro(s) sistema(s) designado(s) por **recetor(es)**.

A fonte cede energia e os recetores recebem energia.

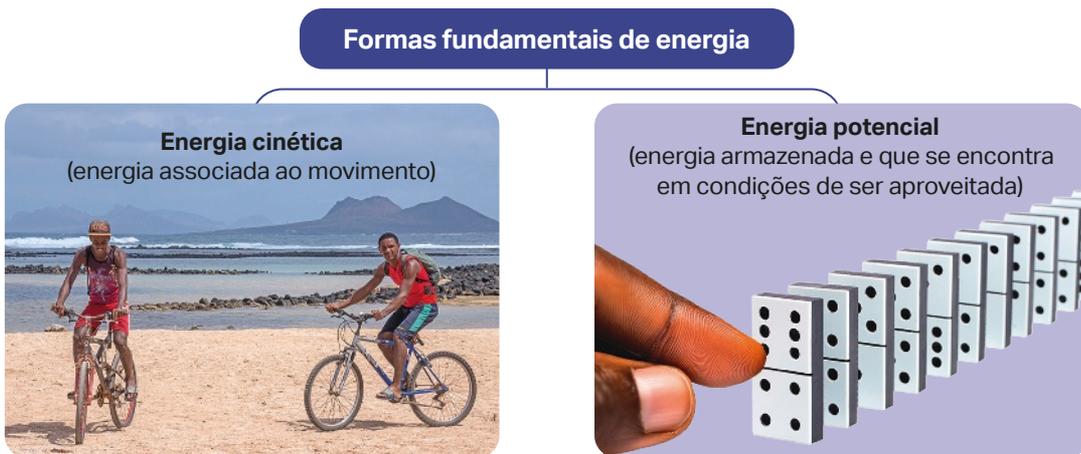


Quando a energia se transfere entre sistemas, **a energia total conserva-se globalmente**. Muitas vezes, não parece ser bem assim... O que acontece é que nem toda a energia transferida é aproveitada; **há sempre energia que se dissipa**, embora se conserve globalmente.

Formas fundamentais de energia

De acordo com as fontes de energia ou as diferentes formas de manifestação, a energia é frequentemente qualificada, por exemplo, em **energia solar, hídrica, eólica, elétrica, geotérmica, da biomassa ou nuclear**.

Independentemente da designação que lhe possa ser dada, as suas manifestações reduzem-se a **dois tipos ou formas fundamentais de energia: energia cinética e energia potencial**, podendo uma transformar-se na outra, isto é, a energia cinética pode transformar-se em energia potencial e a energia potencial pode transformar-se em energia cinética.



Energia cinética

A **energia cinética** de um corpo **depende** da sua **massa** e **velocidade**.

Quanto **maior** for a **massa** do corpo, que se desloca a uma dada velocidade, **maior** é a sua **energia cinética**.

Sentido do movimento →

$$v_{\text{camião}} = 50 \text{ km/h}; m_{\text{camião}} = 10\,000 \text{ kg}$$



$$v_{\text{carro}} = 50 \text{ km/h}; m_{\text{carro}} = 1200 \text{ kg}$$

A energia cinética do camião é maior do que a energia cinética do automóvel.

Quanto **maior** for a **velocidade** do corpo, com uma determinada massa, **maior** é a sua **energia cinética**.

Sentido do movimento →

$$v_A = 80 \text{ km/h}; m_A = 1000 \text{ kg}$$



$$v_B = 100 \text{ km/h}; m_B = 1000 \text{ kg}$$

A energia cinética do automóvel B é maior do que a energia cinética do automóvel A.

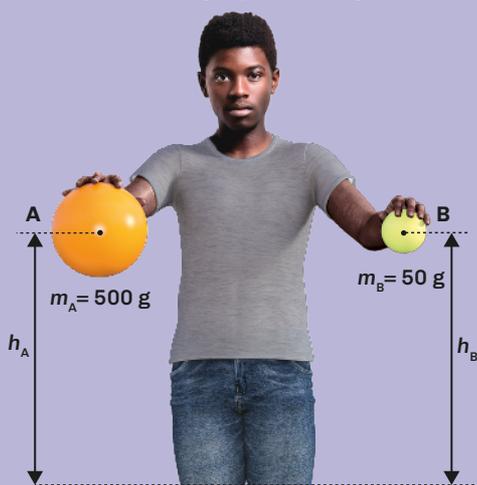
Energia potencial

A **energia potencial** pode manifestar-se, por exemplo, sob a forma de **energia potencial gravítica**, de **energia potencial elástica** ou de **energia potencial química**.

A **energia potencial gravítica** de um corpo resulta da interação gravítica entre a Terra e esse corpo e **depende da massa** do corpo e **da altura** a que o corpo se encontra.

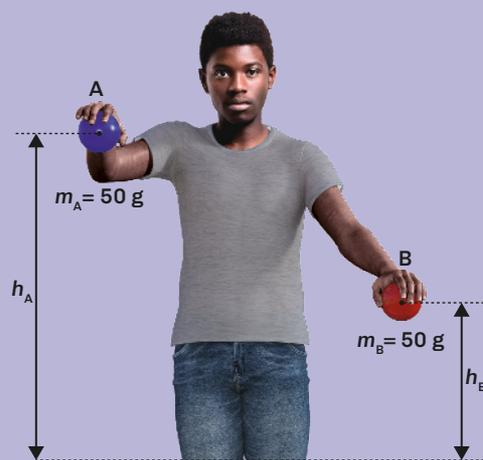
A **energia potencial gravítica** de um corpo **depende** da **massa** e da **altura** a que se encontra.

Quanto **maior** for a **massa** do corpo, a uma dada altura do solo, **maior** será a sua **energia potencial gravítica**.



A **energia potencial gravítica** da bola A é maior do que a energia potencial gravítica da bola B.

Quanto **maior** for a **altura** a que o corpo se encontra, **maior** será a sua **energia potencial gravítica**.



A **energia potencial gravítica** da bola A é maior do que a energia potencial gravítica da bola B.

A **energia potencial elástica** resulta da deformação produzida num corpo elástico (mola, régua de plástico, borracha...).

A **energia potencial química** manifesta-se quando as substâncias se transformam, dando origem a novas substâncias. Por exemplo, os alimentos que ingerimos possuem energia potencial química. Ao serem degradados no nosso organismo, a energia libertada nessas transformações químicas será por nós utilizada nas diferentes atividades que realizamos.

A **unidade SI** de **energia** é o **joule**, símbolo **J**. Contudo, há outras unidades de energia que são muito usadas, como é o caso da **caloria**, cujo símbolo é **cal**.

A caloria e o joule relacionam-se do seguinte modo:

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

Logo, $1 \text{ kcal} = 4,18 \text{ kJ}$.

Como podes ver no rótulo da embalagem de cereais (**Fig. 5**), a energia fornecida por 100 g de cereais é 1605 kJ, o que corresponde a 384 kcal.

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL		
	Por 100 g	Por porção 30 g
Valor energético/Energia	1605 kJ/384 kcal	481,5 J/115,2 cal

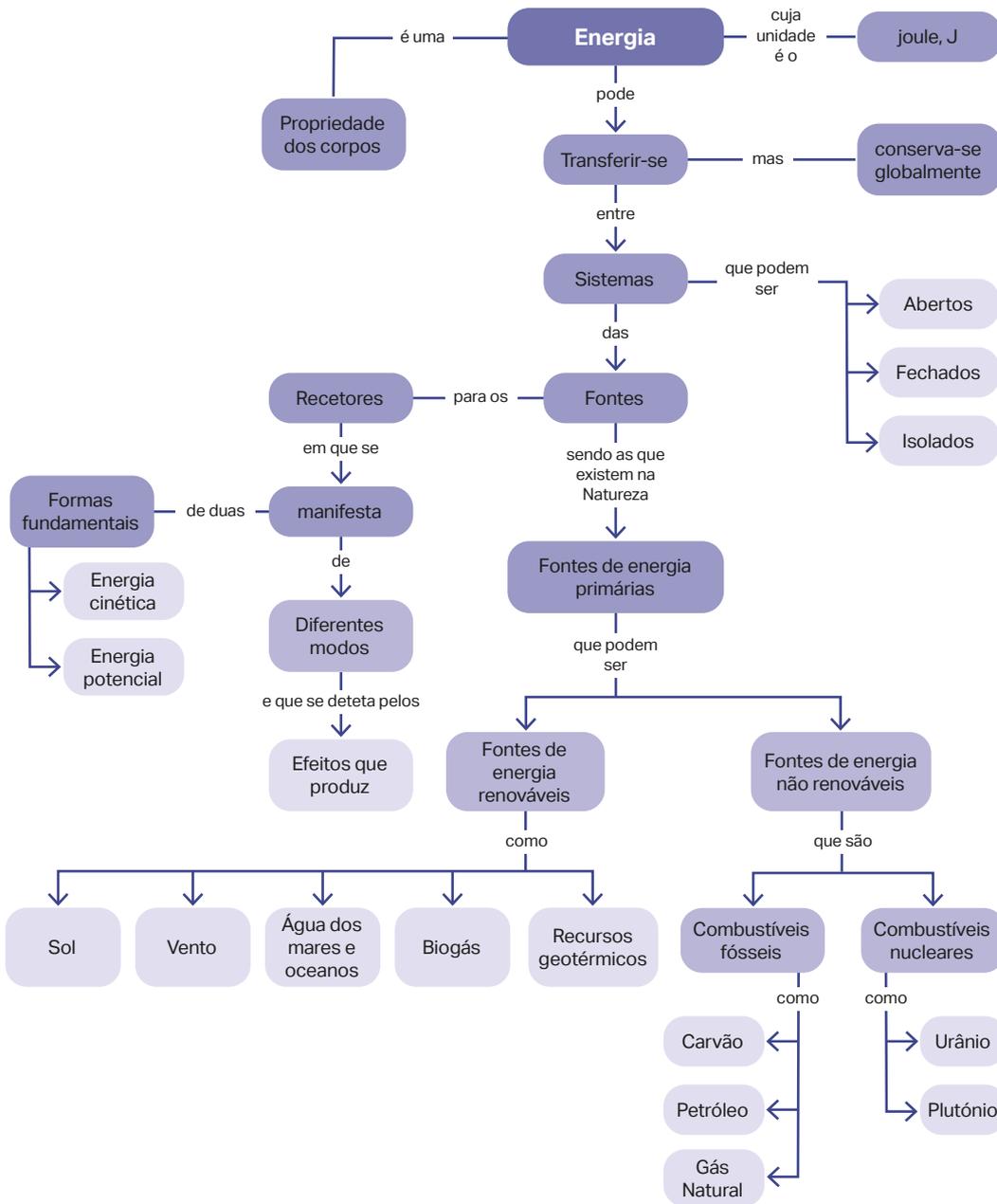
Fig. 5 Informação energética de uma embalagem de cereais.

Manual Digital

Vídeo
Classificação de sistemas



Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **energia** é uma propriedade de todos os corpos, que se manifesta de diferentes modos, sendo detetada pelos efeitos que produz.
- A **unidade SI** de **energia** é o **joule**, cujo símbolo é **J**.
- A **caloria**, cujo símbolo é **cal**, é uma unidade prática de energia cujo valor em joule é:

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

- **A população mundial necessita cada vez mais de energia**, devido ao crescimento demográfico, industrialização e desenvolvimento social, económico e tecnológico.
- Um **sistema físico** é um corpo ou conjunto de corpos que queremos estudar.
- Os **sistemas físicos** podem ser **abertos**, **fechados** ou **isolados**:
 - um **sistema aberto** troca matéria e energia com o exterior;
 - um **sistema fechado** troca apenas energia com o exterior;
 - um **sistema isolado** não troca nem matéria nem energia com o exterior.
- A **energia (interna) de um sistema** pode ser em parte transferida para outro sistema.
- **Numa transferência de energia**, a **fonte de energia** é o sistema que cede energia e o(s) **recetor(es)** de energia é(são) o(s) sistema(s) que recebe(m) essa energia.
- **Quando a energia se transfere** entre sistemas, **a energia total conserva-se globalmente**.
- As **fontes de energia** podem ser **fontes primárias**, se ocorrem na Natureza, ou **fontes secundárias**, se são obtidas a partir de outras fontes de energia.
- As **fontes primárias de energia** podem ser classificadas em **renováveis** e **não renováveis**.
- As **fontes de energia renováveis** são aquelas que estão em contínua renovação, sendo, por isso, inesgotáveis à escala da vida humana.
- O **Sol**, o **vento**, a **água dos rios** e **oceanos** (ondas e marés), o **biogás** e os **recursos geotérmicos** são **fontes de energia renováveis**.
- As **fontes de energia não renováveis** são aquelas cujas reservas são limitadas, podendo vir a esgotar-se, pois o seu processo de formação é muito lento comparado com o ritmo de consumo que o ser humano faz delas.
- Os **combustíveis fósseis** – **carvão**, **petróleo** e **gás natural** – e os **combustíveis nucleares**, como o **urânio** e o **plutónio**, são **fontes de energia não renováveis**.
- **De acordo com as fontes de energia ou as diferentes formas de manifestação**, a energia é frequentemente qualificada, por exemplo, em **energia solar**, **hídrica**, **eólica**, **elétrica**, **geotérmica**, **da biomassa** ou **nuclear**.
- As diversas **formas de manifestação de energia** resumem-se a **duas formas fundamentais**:
 - **energia cinética**, que é a energia associada ao movimento;
 - **energia potencial**, que é a energia armazenada e que se encontra em condições de ser aproveitada.

Exercícios de aplicação

- 1** Seleciona a opção que completa corretamente a frase seguinte.
A energia é...
(A) a quantidade de matéria de um corpo.
(B) a velocidade com que um objeto se move.
(C) a força aplicada a um corpo.
(D) uma propriedade de todos os corpos, detetada pelos efeitos que produz.
- 2** Das seguintes opções, seleciona a que corresponde a uma fonte de energia primária.
(A) Bateria. (B) Energia solar.
(C) Energia térmica. (D) Eletricidade.
- 3** Das seguintes opções, seleciona a que corresponde a uma fonte de energia secundária.
(A) Eletricidade. (B) Carvão.
(C) Vento. (D) Luz solar.
- 4** Dos sistemas seguintes, seleciona aquele que é um sistema fechado.
(A) Motor de combustão.
(B) Corpo humano.
(C) Telemóvel.
(D) Chávena de café quente.
- 5** Das opções seguintes, seleciona a que corresponde a uma transferência de energia.
(A) Conversão de energia de uma forma para outra.
(B) Energia em trânsito de um sistema para outro.
(C) Criação de energia.
(D) Eliminação de energia de um sistema.
- 6** Das formas de energia seguintes, seleciona a que está associada ao movimento.
(A) Cinética. (B) Química.
(C) Térmica. (D) Potencial.

- 7** Das opções seguintes, seleciona a que não é uma forma de energia.
- (A) Química.
 - (B) Luminosa.
 - (C) Matéria.
 - (D) Potencial.
- 8** A unidade SI de energia é...
- (A) J
 - (B) W
 - (C) cal
 - (D) °C
- 9** Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações:
- (A) As manifestações de energia reduzem-se a dois tipos fundamentais: energia cinética e energia potencial.
 - (B) Quanto maior for a massa de um corpo, que se desloca a uma dada velocidade, menor será a sua energia cinética.
 - (C) A energia potencial de um corpo é a energia que está associada à interação desse corpo com outros corpos.
 - (D) Um corpo em repouso ao nível do solo não tem energia.
- 10** Um ciclista desceu uma rampa, sujeito a um vento forte com sentido contrário ao seu movimento retilíneo. Querendo manter a velocidade constante, teve de pedalar a um bom ritmo para o conseguir. Relativamente a este movimento, seleciona a opção correta.
- (A) A energia cinética do sistema aumentou.
 - (B) A energia cinética do sistema diminuiu.
 - (C) A energia potencial gravítica do sistema aumentou.
 - (D) A energia potencial gravítica do sistema diminuiu.
 - (E) A energia potencial gravítica do sistema manteve-se constante.
- 11** Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações:
- (A) Dois corpos que se encontram à mesma altura do solo (nível de referência) têm necessariamente a mesma energia potencial gravítica.
 - (B) A energia potencial gravítica de um corpo é independente do referencial adotado.
 - (C) Dois corpos que se desloquem à mesma velocidade têm necessariamente a mesma energia cinética.
 - (D) Dois corpos com a mesma massa podem ter a mesma energia cinética.

3.2. Trabalho realizado por forças

Conceito de trabalho

No dia a dia, usamos com frequência expressões com a palavra **trabalho**, como, por exemplo: “São horas de ir para o trabalho”; “Trabalho 8 horas por dia”; “Que trabalho me deu arrumar os livros”, entre outras. Associamos a palavra trabalho a qualquer atividade que requer esforço muscular ou intelectual (**Fig. 6**).



Fig. 6 No dia a dia, associamos a palavra trabalho a qualquer atividade que requer esforço muscular ou intelectual.

Em Física, a palavra **trabalho** tem um significado diferente do dia a dia. **O significado físico de trabalho está associado ao de energia.** Assim, **trabalho** é uma medida da energia transferida entre sistemas por ação de forças.

Por exemplo, na **figura 6A**, o operário, ao aplicar uma força na paleta com caixas, provocando o seu deslocamento, transfere energia de si para a paleta, que é medida através da grandeza física trabalho.

Em **sistemas mecânicos** há apenas **transferências de energia** como **trabalho**. **Para que se realize trabalho**, é necessário que uma **força** atue sobre um corpo e que, simultaneamente, exista **deslocamento** do ponto de aplicação da força. Mas, mesmo assim, pode não se realizar trabalho, como vamos ver.

Trabalho é uma medida da energia transferida entre sistemas, por ação de forças.

Trabalho realizado por uma força constante

A expressão que permite calcular o **trabalho**, W , de uma **força constante**, \vec{F} , quando o seu ponto de aplicação sofre um dado deslocamento, é a seguinte:

$$W_{\vec{F}} = F \times d \times \cos \theta$$

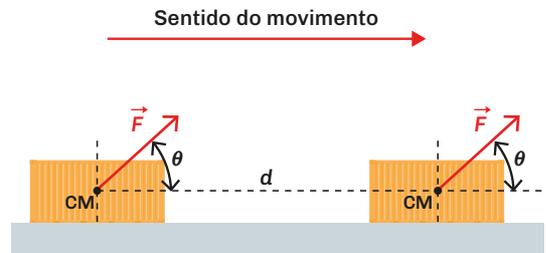


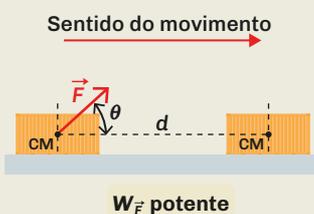
Fig. 7 Força constante \vec{F} aplicada num corpo, cujo ponto de aplicação sofre um dado deslocamento.

sendo F a intensidade da força, d o módulo do deslocamento e θ a amplitude do ângulo entre a força e o deslocamento (**Fig. 7**).

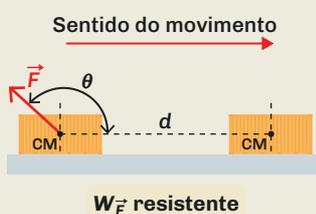
Como o **trabalho de uma força** é uma medida da energia transferida entre sistemas, a sua unidade no Sistema Internacional de Unidades, SI, é a **unidade de energia: joule, J**.

Por análise da expressão anterior, que permite calcular o **trabalho de uma força constante**, verificamos que o trabalho realizado por uma força é uma **grandeza física escalar** que **depende do cosseno do ângulo entre a força e o deslocamento**.

Se o **ângulo** θ está compreendido **entre 0° e 90°** ($0^\circ < \theta < 90^\circ$), o **trabalho** é **positivo** ou **potente** – faz aumentar a energia do corpo.



Se o **ângulo** θ está compreendido **entre 90° e 180°** ($90^\circ < \theta < 180^\circ$), o **trabalho** é **negativo** ou **resistente** – faz diminuir a energia do corpo.



Se o **ângulo** θ for de **90°** ($\theta = 90^\circ$), o **trabalho** é **nulo** ($\cos 90^\circ = 0$), isto é, **não há realização de trabalho** – não faz variar a energia do corpo.



Trabalho potente

Na **figura 8**, pode ver-se um corpo em que a **força constante** \vec{F} , que sobre ele atua, e o **deslocamento** têm a **mesma direção e sentido** e o ângulo θ tem a amplitude de 0° . Logo, **$\cos 0^\circ = 1$** .

Então, sendo $W_{\vec{F}} = F \times d \times \cos \theta$, tem-se:

$$W_{\vec{F}} = F \times d \times 1 \Leftrightarrow W_{\vec{F}} = F \times d$$

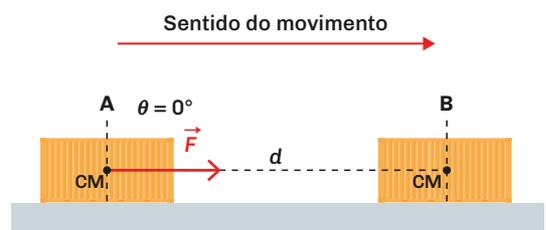


Fig. 8 Força constante \vec{F} aplicada num corpo, com a mesma direção e sentido do deslocamento.



Como os valores de F e d são positivos, é $W_{\vec{F}} > 0$. O **trabalho da força \vec{F}** é, neste caso, **positivo** ou **potente**.

Um **trabalho positivo** indica que **foi transferida energia cinética para o corpo**; a energia cinética do corpo aumenta. A **energia cinética recebida** pelo corpo é **igual** ao valor do **trabalho realizado pela força** que nele atua.

Um **trabalho potente** contribui para o aumento da energia cinética do corpo sobre o qual a força atua.

Trabalho resistente

Na **figura 9**, pode ver-se um corpo em que a **força constante \vec{F}** , que sobre ele atua, tem a **direção do deslocamento**, mas **sentido contrário**. Logo, o ângulo θ tem a amplitude de 180° e $\cos 180^\circ = -1$.

Então, sendo $W_{\vec{F}} = F \times d \times \cos \theta$, tem-se:

$$W_{\vec{F}} = F \times d \times (-1) \Leftrightarrow W_{\vec{F}} = -F \times d$$

Como os valores de F e d são positivos, é $W_{\vec{F}} < 0$. O **trabalho da força \vec{F}** é, neste caso, **negativo** ou **resistente**.

Um **trabalho negativo** indica que **diminui a energia cinética do corpo**. A **energia cedida** pelo corpo é **igual** ao valor do **trabalho realizado pela força** que nele atua.

Um **trabalho resistente** contribui para a diminuição da energia cinética do corpo sobre o qual a força atua.

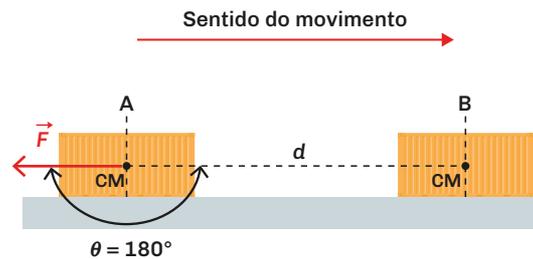


Fig. 9 Força constante \vec{F} aplicada num corpo, com a mesma direção do deslocamento, mas sentido contrário.

Trabalho nulo

Na **figura 10**, pode ver-se um corpo e a **força constante \vec{F}** , que sobre ele atua, **perpendicularmente ao deslocamento**. Neste caso, a amplitude do ângulo θ é 90° . Logo, $\cos 90^\circ = 0$.

Então, sendo $W_{\vec{F}} = F \times d \times \cos \theta$, tem-se:

$$W_{\vec{F}} = F \times d \times 0 \Leftrightarrow W_{\vec{F}} = 0$$

Como a **força \vec{F}** , que atua no corpo, **não realiza trabalho**, **não há variação da energia cinética do corpo**.

Uma **força** que atua num corpo numa direção **perpendicular ao deslocamento** não realiza trabalho; portanto, não faz variar a energia cinética do corpo.

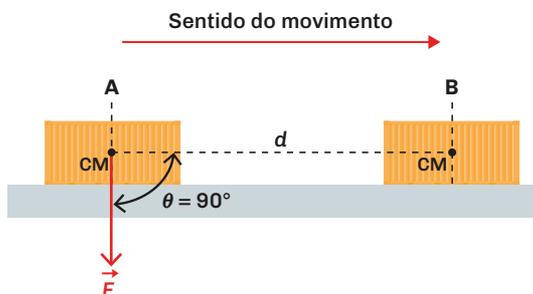
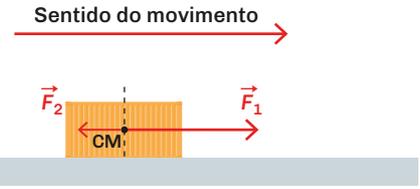


Fig. 10 Força constante \vec{F} aplicada num corpo, na direção perpendicular ao deslocamento.

Exercício resolvido

- 1 Um corpo rígido com 20 kg de massa, apoiado sobre uma superfície horizontal sem atrito, é arrastado horizontalmente sob a ação de uma força \vec{F}_1 , de intensidade 100 N, no sentido do movimento, e de uma força \vec{F}_2 , de intensidade 40 N, no sentido oposto ao do movimento, percorrendo uma distância de 50 m.



- 1.1 Indica, na figura, todas as forças que atuam no corpo. Considera como ponto de aplicação o centro de massa do corpo.
- 1.2 Calcula o trabalho realizado por cada uma das forças que atuam no corpo.

Resolução:

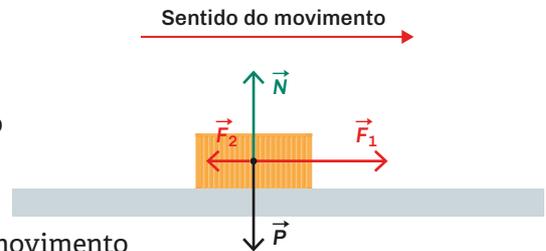
- 1.1. As forças que atuam no corpo são:

\vec{F}_1 – força aplicada no sentido do movimento

\vec{P} – peso do corpo

\vec{N} – reação normal do plano

\vec{F}_2 – força aplicada no sentido oposto ao do movimento



- 1.2. Como as forças \vec{P} (peso do corpo) e \vec{N} (reação normal do plano) são perpendiculares ao deslocamento, estas forças não realizam trabalho ($W_{\vec{P}} = 0$ e $W_{\vec{N}} = 0$).

- Cálculo do trabalho realizado pela força \vec{F}_1 : $W_{\vec{F}_1} = F_1 \times d \times \cos \theta$

Como \vec{F}_1 e o deslocamento têm a mesma direção e sentido, é: $\theta = 0^\circ \Rightarrow \cos 0^\circ = 1$.

Logo, tem-se: $W_{\vec{F}_1} = 100 \times 50 \times 1 \Leftrightarrow W_{\vec{F}_1} = 5000 \text{ J} \Leftrightarrow W_{\vec{F}_1} = 5,0 \times 10^3 \text{ J}$ (trabalho potente)

- Cálculo do trabalho realizado pela força \vec{F}_2 : $W_{\vec{F}_2} = F_2 \times d \times \cos \theta$

Como \vec{F}_2 e o deslocamento têm sentidos opostos, é: $\theta = 180^\circ \Rightarrow \cos 180^\circ = -1$.

Logo, tem-se: $W_{\vec{F}_2} = 40 \times 50 \times (-1) \Leftrightarrow W_{\vec{F}_2} = -2000 \text{ J} \Leftrightarrow W_{\vec{F}_2} = -2,0 \times 10^3 \text{ J}$ (trabalho resistente).

Força eficaz

Considera um corpo em movimento retilíneo sobre uma superfície horizontal, sob a ação da força \vec{F} (Fig. 11), que faz um determinado ângulo com a direção do deslocamento.

A força \vec{F} pode ser decomposta no referencial cartesiano indicado na figura 11 em duas componentes: \vec{F}_x , segundo o eixo dos xx (horizontal), e \vec{F}_y , segundo o eixo dos yy (vertical).

$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y$$

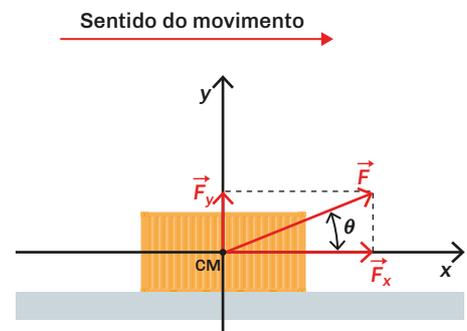


Fig. 11 Corpo em movimento por ação da força \vec{F} .

Aplicando o conceito de trabalho a \vec{F}_x e a \vec{F}_y , verificamos que apenas a força \vec{F}_x realiza trabalho. **A componente vertical, \vec{F}_y , como é perpendicular ao deslocamento, não realiza trabalho.** Sendo $W_{\vec{F}_y} = 0$, o **trabalho da força \vec{F} é apenas igual ao trabalho da força \vec{F}_x .**

$$W_{\vec{F}} = W_{\vec{F}_x}$$

Diz-se, por isso, que **a componente da força, na direção do deslocamento, \vec{F}_x , é a componente eficaz, \vec{F}_{ef} , da força \vec{F} ($\vec{F}_x = \vec{F}_{ef}$).**

A **força eficaz, \vec{F}_{ef}** , é a componente da força na direção do deslocamento e que, efetivamente, realiza trabalho.

Como $F_x = F \cos \theta$, tem-se, $F_{ef} = F \cos \theta$. Logo, $W_{\vec{F}} = W_{\vec{F}_{ef}}$, ou seja, $W_{\vec{F}} = F_{ef} \times d$

O **trabalho de uma força \vec{F} é igual ao trabalho da força eficaz, \vec{F}_{ef}** , que é a componente da força \vec{F} na direção do deslocamento.

$$W_{\vec{F}} = W_{\vec{F}_{ef}}$$

Assim:

- Se a **componente eficaz, \vec{F}_{ef} , da força \vec{F} tiver o sentido do movimento (Fig. 12)**, o trabalho realizado pela força é positivo ($\cos \theta > 0$) – **trabalho potente**.

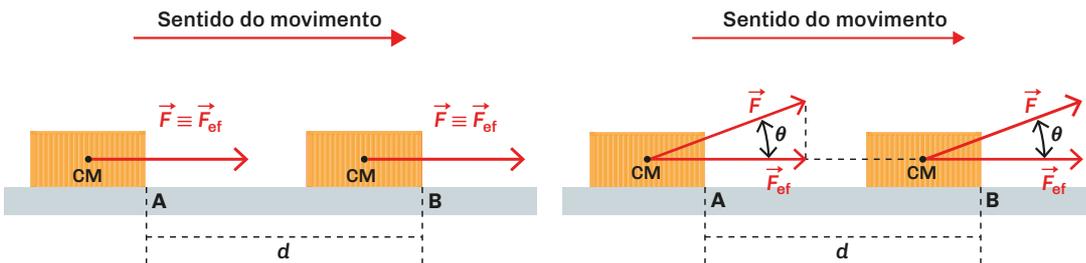


Fig. 12 A força, \vec{F}_{ef} , tem, nas duas situações, a direção e o sentido do movimento.

- Se a **componente eficaz, \vec{F}_{ef} , da força \vec{F} tiver sentido oposto ao do movimento (Fig. 13)**, o trabalho realizado pela força é negativo ($\cos \theta < 0$) – **trabalho resistente**.

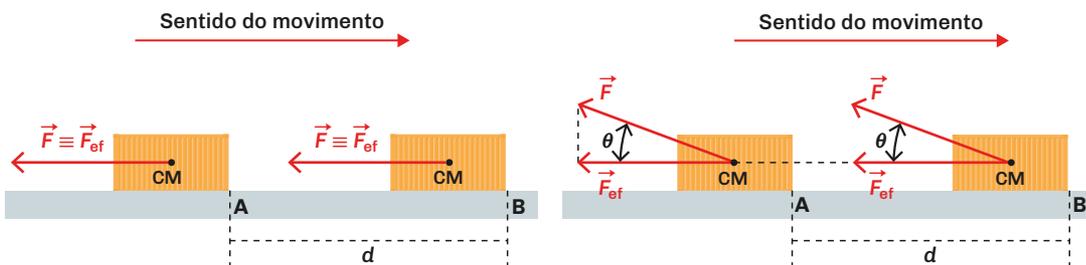


Fig. 13 A força eficaz, \vec{F}_{ef} , tem, nas duas situações, a direção do movimento, mas sentido contrário.

- Se a **componente eficaz**, \vec{F}_{efr} , da força \vec{F} for **nula** ($\cos 90^\circ = 0$), isto é, quando a força atua na direção perpendicular ao deslocamento (**Fig. 14**), o **trabalho** realizado pela força é **nulo**, como vimos.

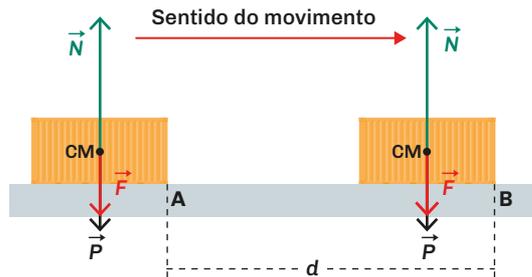


Fig. 14 Nesta situação, a força eficaz é nula.

Forças como, por exemplo, a **reação normal de um plano** e a **força que um fio exerce num pêndulo** (**Fig. 15**), **não realizam trabalho**, pois são constantemente perpendiculares à direção do deslocamento dos corpos em que atuam.

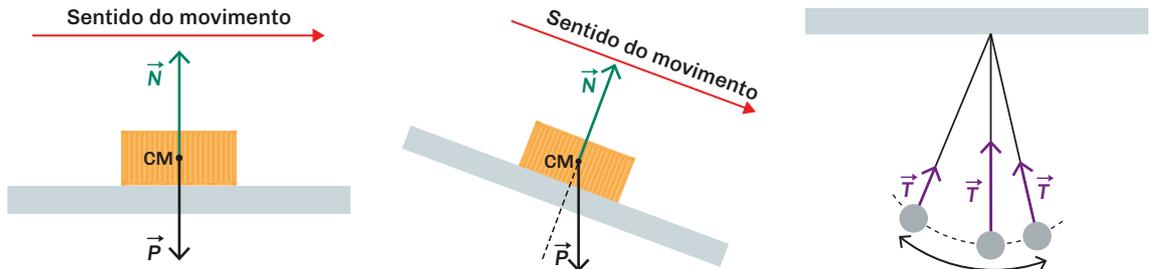
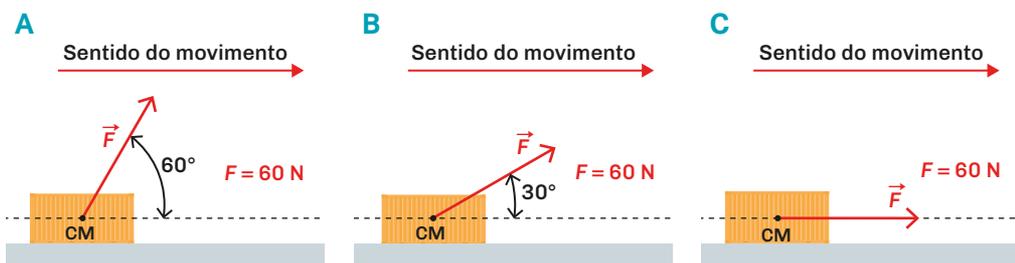


Fig. 15 A reação normal, \vec{N} , e a tensão do fio, \vec{T} , não realizam trabalho durante o movimento do corpo.

Exercício resolvido

- Na figura podes ver um bloco rígido em movimento retilíneo numa superfície horizontal, sob a ação de forças de intensidade constante e igual a 60 N, mas com direções diferentes, em cada uma das situações. O deslocamento do centro de massa do bloco foi de 1,5 m nas três situações.



- Determina a intensidade da força eficaz, em cada uma das situações.
- Calcula o trabalho realizado por cada uma das forças.
- Em qual das situações a energia transferida para o bloco foi maior? Justifica.

Resolução:

2.1. A componente eficaz é a componente da força na direção do deslocamento. O seu valor calcula-se pela relação trigonométrica: $F_{ef} = F \cos \theta$. Assim, tem-se:

Na situação A:

$$F_{ef} = 60 \times \cos 60^\circ \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow F_{ef} = 30 \text{ N}$$

Na situação B:

$$F_{ef} = 60 \times \cos 30^\circ \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow F_{ef} = 52 \text{ N}$$

Na situação:

$$F_{ef} = 60 \times \cos 0^\circ \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow F_{ef} = 60 \text{ N}$$

2.2. O trabalho realizado por cada uma das forças pode ser calculado pela expressão:

$W_{\vec{F}} = F_{ef} \times d$. Então, tem-se:

Na situação A:

$$W_{\vec{F}} = 30 \times 1,5 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow W_{\vec{F}} = 45 \text{ J}$$

Na situação B:

$$W_{\vec{F}} = 52 \times 1,5 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow W_{\vec{F}} = 78 \text{ J}$$

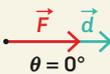
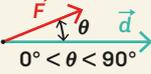
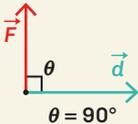
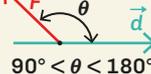
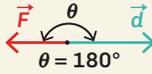
Na situação C:

$$W_{\vec{F}} = 60 \times 1,5 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow W_{\vec{F}} = 90 \text{ J}$$

2.3. Como o trabalho realizado pela força é maior na situação C ($W_{\vec{F}} = 90 \text{ J}$), a energia transferida para o bloco é maior em C. A energia recebida pelo bloco é igual ao trabalho realizado pela força que nele atua.

A transferência de energia para um corpo, como trabalho de uma força, \vec{F} , é tanto maior quanto maior for a projeção da força aplicada no corpo na direção do deslocamento, ou seja, quanto maior for a força eficaz.

Como varia, então, o trabalho de uma força, \vec{F} , de intensidade constante, quando esta atua num corpo em diferentes direções relativamente ao deslocamento?

Ângulo θ entre a força de intensidade constante \vec{F} e o deslocamento \vec{d}					
Direção e sentido da força \vec{F} em relação ao deslocamento	Mesma direção e sentido	Direção oblíqua	Direção perpendicular	Direção oblíqua	Mesma direção e sentido oposto
Trabalho da força \vec{F}	Positivo ou potente máximo	Positivo ou potente	Nulo	Negativo ou resistente	Negativo ou resistente máximo

Quadro 1

Em síntese:

- A **transferência de energia para um corpo**, como trabalho de uma força de intensidade constante, é **máxima** quando a **força** e o **deslocamento** têm a **mesma direção e sentido**. O **trabalho** da força é **positivo** ou **potente**.
- A **energia** que é **retirada a um corpo**, como trabalho de uma força de intensidade constante, é **máxima** quando a **força** e o **deslocamento** têm a **mesma direção e sentidos opostos**. O **trabalho** da força é **negativo** ou **resistente**.

Trabalho realizado pela resultante das forças que atuam num corpo

Quando várias forças atuam num corpo, em movimento de translação, o trabalho realizado é igual:

- à soma dos trabalhos realizados por cada uma das forças aplicadas no corpo:

$$W_{\vec{F}_R} = W_{\vec{F}_1} + W_{\vec{F}_2} + W_{\vec{F}_3} + \dots$$

- ao trabalho realizado pela resultante das forças \vec{F}_R desse sistema de forças:

$$W_{\vec{F}_R} = F_R \times d \times \cos \theta$$

Quando várias forças atuam num corpo em movimento de translação, o trabalho realizado é igual à soma dos trabalhos realizados por cada uma das forças e, por sua vez, **igual ao trabalho da resultante desse sistema de forças**.

Exercícios resolvidos

Um rapaz puxa obliquamente, com uma força constante, \vec{F} , de módulo 60 N, um carrinho com um saco.

O carrinho, de massa 1,5 kg, desloca-se, em linha reta, 25,0 m ao longo de uma superfície horizontal com atrito de 3,0 N.

- 3 Calcule, para o referido deslocamento, o trabalho realizado:
 - 3.1 pelo rapaz;
 - 3.2 pelo peso do carrinho;
 - 3.3 pela força de atrito;
 - 3.4 pela resultante das forças que atuam no carrinho.

**Resolução:**

- 3.1. Sendo $W_{\vec{F}} = F \times d \times \cos \theta$, tem-se: $W_{\vec{F}} = 60 \times 25,0 \times \cos 37^\circ \Leftrightarrow W_{\vec{F}} = 1,2 \times 10^3 \text{ J}$
- 3.2. Como \vec{P} é perpendicular ao deslocamento, não realiza trabalho $\cos 90^\circ = 0 \Rightarrow W_{\vec{P}} = 0 \text{ J}$.
- 3.3. $W_{\vec{F}_a} = F_a \times d \times \cos \theta \Rightarrow W_{\vec{F}_a} = 3,0 \times 25,0 \times \cos 180^\circ \Leftrightarrow W_{\vec{F}_a} = -75 \text{ J}$
- 3.4. $W_{\vec{F}_R} = W_{\vec{F}} + W_{\vec{F}_a} + W_{\vec{P}} + W_{\vec{N}}$
Como $W_{\vec{P}} = 0$ e $W_{\vec{N}} = 0$, fica $W_{\vec{F}_R} = W_{\vec{F}} + W_{\vec{F}_a}$. Logo: $W_{\vec{F}_R} = 1,2 \times 10^3 - 75 \Leftrightarrow W_{\vec{F}_R} = 1,1 \times 10^3 \text{ J}$

4 Classifica as afirmações seguintes de verdadeiras (V) ou falsas (F).

(A) O trabalho realizado pelo rapaz é resistente, visto haver atrito.

(B) Aumentando o ângulo entre o deslocamento e a força exercida pelo rapaz, para 45° , aumenta o trabalho realizado por este.

Resolução:

4. (A) F. O trabalho realizado pelo rapaz é potente, visto ser positivo.

(B) F. Aumentando o ângulo entre o deslocamento e a força exercida pelo rapaz, para 45° , o valor do $\cos \theta$ diminui, diminuindo o trabalho realizado por este.

Gráficos força-deslocamento e trabalho de uma força

O **trabalho** realizado por uma força constante, \vec{F} , quando o seu ponto de aplicação se desloca, também pode ser calculado através de um **gráfico força-deslocamento**.

Assim:

- Se a força e o deslocamento tiverem a mesma direção e sentido, o valor da área do retângulo sombreado, no gráfico da **figura 16B**, é numericamente igual ao trabalho realizado pela força constante, \vec{F} , pois, sendo $\cos 0^\circ = 1$, é: $W_{\vec{F}} = F \times d$.

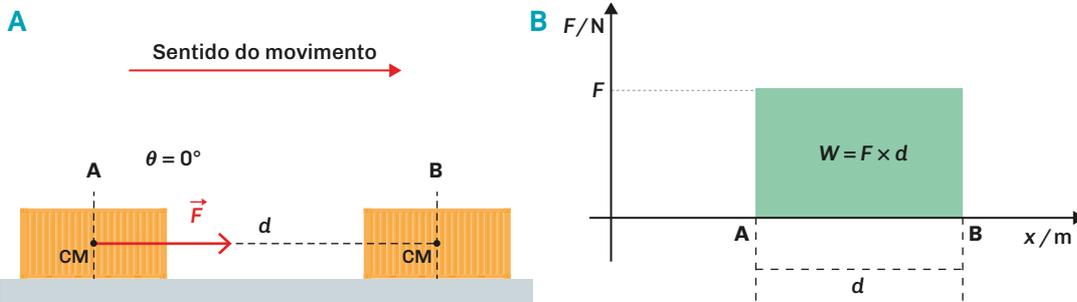


Fig. 16 Força constante \vec{F} , aplicada num corpo com a mesma direção e sentido do deslocamento.

- Se a força eficaz, \vec{F}_{ef} , tiver o sentido do deslocamento, o valor da área do retângulo sombreado, no gráfico da **figura 17B**, é numericamente igual ao trabalho realizado pela força constante, \vec{F} , pois, $W_{\vec{F}} = W_{\vec{F}_{\text{ef}}}$.

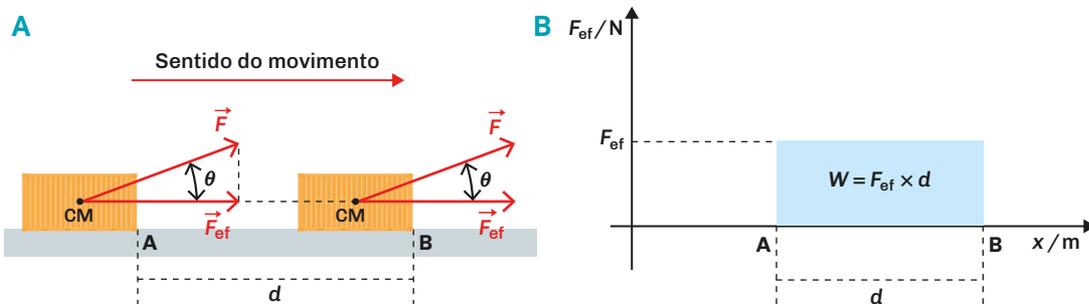


Fig. 17 Força eficaz com o mesmo sentido do deslocamento.

- Se a força eficaz, \vec{F}_{ef} , tiver sentido oposto ao do deslocamento, o valor da área do retângulo sombreado, no gráfico da **figura 18B**, é numericamente igual ao módulo do trabalho realizado pela força constante, \vec{F} , pois este é negativo ($\cos \theta < 0$).

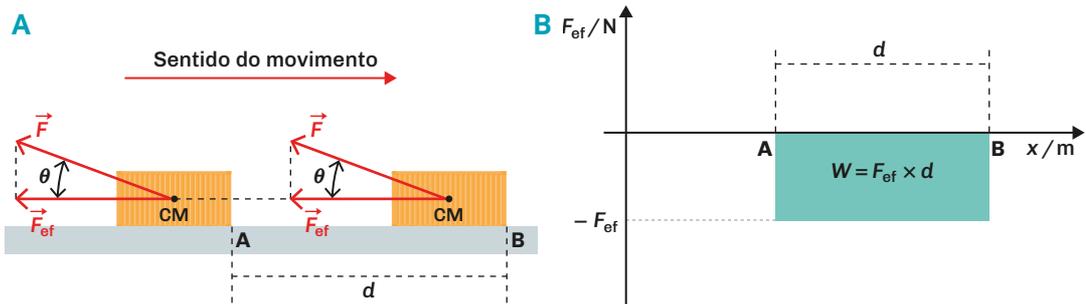
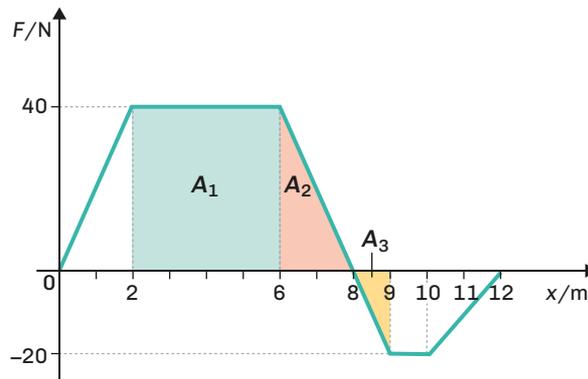


Fig. 18 Força eficaz com sentido oposto ao do deslocamento.

Exercício resolvido

- 5 Considera uma caixa a mover-se retilineamente, sem inversão de sentido, numa superfície horizontal, sem atrito, por ação de uma força \vec{F} , de intensidade variável, como se pode ver no gráfico da figura.



Calcula, com base no gráfico, o trabalho realizado pela força \vec{F} , no deslocamento entre as posições 2 m e 9 m.

Resolução:

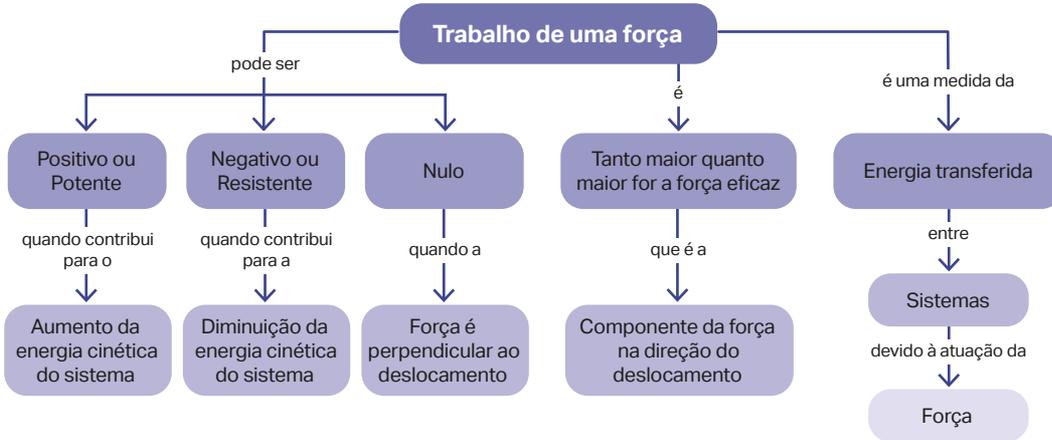
5. O trabalho realizado pela força \vec{F} , no deslocamento entre as posições 2 m e 9 m ($d = 9 - 2 \Leftrightarrow d = 7$ m), uma vez que o movimento é retilíneo sem inversão de sentido, pode ser calculado através do gráfico que relaciona a força aplicada e o deslocamento efetuado, pelo cálculo das áreas sombreadas no gráfico. A área A_1 corresponde à área de um retângulo e as áreas A_2 e A_3 às áreas de dois triângulos. Assim, tem-se:

$$W_{\vec{F}} = A_1 + A_2 - A_3 \quad (W_3 < 0, \text{ uma vez que } F < 0, \text{ para } x \text{ no intervalo } [8; 9] \text{ m})$$

Substituindo pelos valores, fica:

$$W_{\vec{F}} = 40 \times 4 + \frac{40 \times 2}{2} - \frac{20 \times 1}{2} \Leftrightarrow W_{\vec{F}} = 190 \text{ J}$$

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- **Trabalho** é uma medida da energia transferida entre sistemas, por ação de forças. A sua unidade SI é o **joule, J**.
- O **trabalho** é uma **grandeza física escalar** que depende do cosseno do ângulo entre a força e o deslocamento.

$$W_{\vec{F}} = F \times d \times \cos \theta$$

- O **trabalho** é:
 - **positivo** ou **potente**, se o **ângulo** θ está compreendido **entre 0° e 90°** ($0^\circ < \theta < 90^\circ$);
 - **negativo** ou **resistente**, se o **ângulo** θ está compreendido **entre 90° e 180°** ($90^\circ < \theta < 180^\circ$);
 - **nulo**, se o **ângulo** θ for **de 90°** ($\theta = 90^\circ$).
- Um **trabalho potente** contribui para o aumento da energia cinética de um corpo e um **trabalho resistente** contribui para a diminuição da sua energia cinética.
- Uma **força** que atua num corpo numa direção **perpendicular ao deslocamento não realiza trabalho**; portanto, **não faz variar a energia cinética do corpo**.
- A **força eficaz**, \vec{F}_{ef} , é a componente da força na direção do deslocamento e que, efetivamente, realiza trabalho.
- O **trabalho de uma força** \vec{F} é **igual** ao **trabalho da força eficaz**, \vec{F}_{ef} , que é a componente da força \vec{F} na direção do deslocamento.

$$W_{\vec{F}} = W_{\vec{F}_{\text{ef}}}$$

- A **transferência de energia para um corpo**, como trabalho de uma força, \vec{F} , é tanto maior quanto maior for a projeção da força aplicada no corpo na direção do deslocamento, ou seja, quanto maior for a força eficaz.
- Quando **várias forças atuam num corpo em movimento de translação**, o **trabalho realizado** é igual à soma dos trabalhos realizados por cada uma das forças e, por sua vez, **igual ao trabalho da resultante desse sistema de forças**.
- O **trabalho** realizado por uma força constante, \vec{F} , quando o seu ponto de aplicação se desloca, também **pode ser calculado através de um gráfico força-deslocamento**.

Exercícios de aplicação

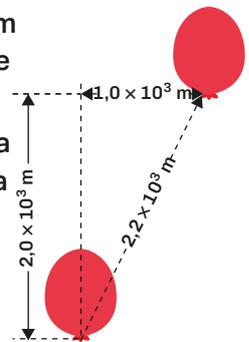
1 Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações:

- (A) Sempre que uma força atua num corpo, realiza trabalho.
- (B) Só as forças potentes realizam trabalho.
- (C) O trabalho realizado por uma força mede a energia transferida de um sistema para outro, devido à atuação dessa força.
- (D) O significado físico de trabalho está associado ao de energia.
- (E) Uma força que atua num corpo em sentido oposto ao deslocamento não realiza trabalho.

2 A figura representa um balão, de massa m , que subiu $2,0 \times 10^3$ m na vertical e que foi depois desviado pelo vento, deslocando-se $1,0 \times 10^3$ m na horizontal.

Qual das expressões seguintes, onde g representa o módulo da aceleração gravítica, permite calcular o trabalho realizado, para o deslocamento considerado, pela força gravítica, \vec{F}_g , que atua no balão?

- (A) $W_{\vec{F}} = -2,0 \times 10^3 m g$
- (B) $W_{\vec{F}} = -3,0 \times 10^3 m g$
- (C) $W_{\vec{F}} = -1,0 \times 10^3 m g$
- (D) $W_{\vec{F}} = -2,2 \times 10^3 m g$



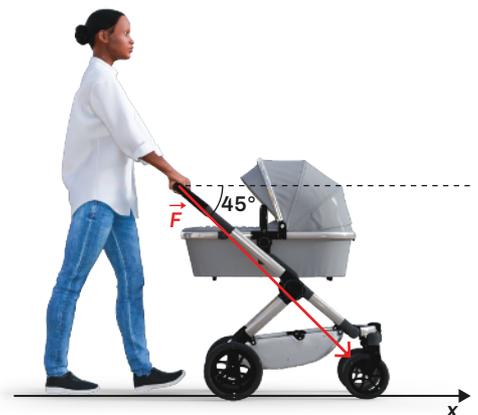
3 Um corpo, de massa 5,0 kg, cai verticalmente de uma altura de 4,0 m. A resistência do ar pode ser considerada desprezável.

Considera $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$.

- 3.1. Calcula o trabalho realizado pelo peso do corpo até este chegar ao solo (nível de referência).
- 3.2. O trabalho realizado pelo peso do corpo na sua queda até ao solo é positivo ou negativo? Explica o que isso significa.

4 A Ana, quando saiu do seu trabalho, foi buscar o filho à creche e levou-o para casa no carrinho de bebé. Ao empurrar o carrinho exerceu uma força constante, de intensidade 40 N, que fazia um ângulo de 45° com a direção do deslocamento. A força de atrito entre as superfícies em contacto foi de 4,0 N, e, no deslocamento até casa, percorreu 200 m. Considera $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$.

- 4.1. Representa, no teu caderno diário, as forças aplicadas no carrinho.



4.2. Compara a intensidade das forças:

4.2.1. \vec{P} e \vec{N} ;

4.2.2. \vec{F}_a e \vec{F}_{eficaz} .

4.3. Das forças que atuam no carrinho, quais são as que realizam trabalho?

4.4. Calcula o trabalho realizado pela resultante das forças que atuam no carrinho.

4.5. Se o ângulo que a força que a Ana faz com a direção do deslocamento fosse menor, o trabalho realizado por esta força \vec{F} seria maior ou menor? Justifica sem efetuar cálculos.

5 Uma força constante \vec{F} , de intensidade 20 N, faz deslocar um corpo 1,5 m na direção e no sentido da força. Considera as forças de atrito desprezáveis.

5.1. Calcula o trabalho realizado pela força \vec{F} .

5.2. Traça o gráfico força-deslocamento correspondente ao movimento do corpo.

5.3. Justifica a seguinte afirmação:

O trabalho realizado pela força \vec{F} , quando o seu ponto de aplicação sofre um dado deslocamento, também pode ser calculado através do gráfico força-deslocamento.

6 Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das afirmações seguintes:

- (A) O trabalho realizado pelo peso de um corpo num deslocamento horizontal é nulo.
- (B) Sempre que uma força constante atua sobre um corpo, esta realiza trabalho sobre o corpo.
- (C) O trabalho realizado pela força de atrito é um trabalho potente, pois a força de atrito tem a mesma direção e sentido oposto ao do movimento.
- (D) A componente eficaz é a componente da força na direção do deslocamento e que, efetivamente, realiza trabalho.
- (E) A unidade SI de trabalho é o watt.

7 Das expressões seguintes, seleciona a que permite calcular o trabalho de uma força constante, \vec{F} , sabendo que essa força tem sentido oposto ao do deslocamento.

(A) $W_{\vec{F}} = -F \times t$

(B) $W_{\vec{F}} = F \times d$

(C) $W_{\vec{F}} = -F \times d \times \cos 180^\circ$

(D) $W_{\vec{F}} = F \times t$

(E) $W_{\vec{F}} = F \times d \times \cos 180^\circ$

8 Por ação de uma força constante de intensidade $2,00 \times 10^2$ N, um corpo, que se encontrava inicialmente em repouso, deslocou-se horizontalmente 50,0 cm. Sabendo que a direção e o sentido da força aplicada coincidem com a direção e sentido do deslocamento, classifica de verdadeira ou falsa cada uma das afirmações seguintes:

- (A) O trabalho realizado pela força constante é $1,00 \times 10^4$ J.
- (B) A força constante realizou trabalho potente.
- (C) O trabalho realizado pela força constante mede, efetivamente, a energia que é transferida do corpo para o exterior.
- (D) A energia cinética do corpo aumentou 100 J.
- (E) O trabalho realizado pela força constante é máximo, nas condições referidas.

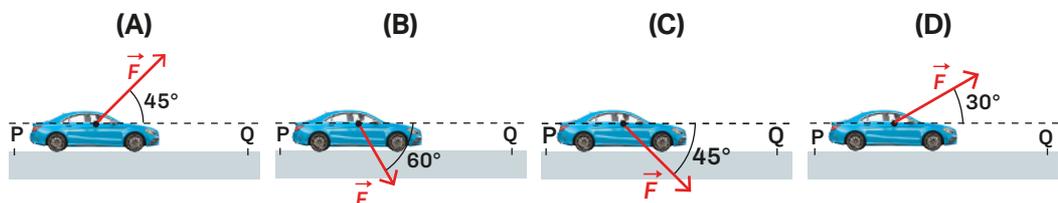
9 Considera um carrinho que se desloca de uma posição P para uma posição Q, por ação de uma força de intensidade constante, segundo uma trajetória retilínea e horizontal.

9.1. No movimento considerado, o trabalho realizado pelo peso do carrinho é nulo, porque o peso...

- (A) tem direção perpendicular ao deslocamento do carrinho.
- (B) é anulado pela força de reação normal exercida pelo plano.
- (C) tem intensidade constante.

Seleciona a opção correta.

9.2. Em qual das situações seguintes é maior, para o deslocamento considerado, a energia transferida para o carrinho, por ação da força representada? Justifica.



10 No lançamento vertical de um corpo para cima, este sobe até atingir uma altura máxima e, imediatamente depois, inverte o sentido do movimento e cai até ao ponto de lançamento.

Para este movimento ascensional seguido de queda:

10.1. O trabalho realizado pelo peso do corpo é...

- (A) positivo na subida e na descida.
- (B) negativo na subida e na descida.
- (C) positivo na subida e negativo na descida.
- (D) negativo na subida e positivo na descida.

10.2. O trabalho realizado pela força de resistência do ar é...

- (A) positivo na subida e na descida.
- (B) negativo na subida e na descida.
- (C) positivo na subida e negativo na descida.
- (D) negativo na subida e positivo na descida.

Seleciona as opções corretas.

3.3. Teorema do trabalho e energia cinética

Energia cinética

Há duas formas fundamentais de energia: a **energia cinética** e a **energia potencial**.

A **energia cinética**, E_c , é a energia que está associada ao movimento de um corpo. Por exemplo, uma bicicleta em movimento (Fig. 19) possui energia cinética.

A expressão que permite calcular o valor da **energia cinética**, E_c , conhecidas a **massa** e a **velocidade** do corpo é a seguinte:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$



Fig. 19 Todo o corpo em movimento possui energia cinética.

Como podes constatar pela expressão anterior:

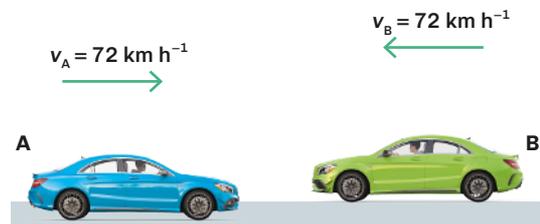
A energia cinética, E_c , é diretamente proporcional à massa e ao quadrado da velocidade.

Quanto **maior** for a **massa** do corpo, que se desloca a uma dada velocidade, **maior** é a sua **energia cinética**.

Quanto **maior** for a **velocidade** do corpo, com uma determinada massa, **maior** é a sua **energia cinética**.

Exercício resolvido

- 6 Dois automóveis, A e B, deslocam-se com a velocidade constante de 72 km h^{-1} , numa estrada retilínea, em sentidos contrários. A energia cinética do automóvel A é $1,4 \times 10^5 \text{ J}$ e a massa do automóvel B é de $1,4 \times 10^3 \text{ kg}$.



- 6.1 Calcula a energia cinética do automóvel B.
 6.2 Que relação há entre as massas dos dois automóveis?
 6.3 Deslocando-se os dois automóveis com velocidades de igual valor, por que razão as suas energias cinéticas são diferentes?
 6.4 Se a velocidade do automóvel A duplicasse, qual seria o aumento da respetiva energia cinética?

Resolução:

6.1. $v_B = 72 \text{ km h}^{-1} \Leftrightarrow v_B = \frac{72\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \Leftrightarrow v_B = 20 \text{ m s}^{-1}$

Sendo $E_{c_B} = \frac{1}{2} m_B v_B^2$, substituindo pelos valores, tem-se:

$$E_{c_B} = \frac{1}{2} \times 1,4 \times 10^3 \times 20^2 \Leftrightarrow E_{c_B} = 2,8 \times 10^5 \text{ J}$$

6.2. Para relacionar as massas dos dois automóveis, vamos recorrer ao quociente das respetivas energias cinéticas. Então, tem-se:

$$\frac{E_{cA}}{E_{cB}} = \frac{\frac{1}{2}m_A v_A^2}{\frac{1}{2}m_B v_B^2} \Leftrightarrow \frac{E_{cA}}{E_{cB}} = \frac{m_A}{m_B}, \text{ pois, como } v_A = v_B, \text{ simplifica.}$$

Substituindo pelos valores das energias cinéticas, tem-se:

$$\frac{1,4 \times 10^5 \text{ J}}{2,8 \times 10^5 \text{ J}} = \frac{m_A}{m_B} \Leftrightarrow \frac{m_A}{m_B} = \frac{1}{2} \Leftrightarrow m_B = 2 m_A$$

6.3. As energias cinéticas dos dois automóveis são diferentes, apesar de o valor da velocidade ser igual, porque as massas dos dois automóveis são diferentes.

6.4. Sendo $E_c = \frac{1}{2} m v^2$, se a velocidade do automóvel A duplicasse, a sua energia cinética quadruplicaria, pois: $E_{c_2} = \frac{1}{2} m \times (2 v_1)^2 \Leftrightarrow E_{c_2} = \frac{1}{2} m \times 4 v_1^2 \Leftrightarrow E_{c_2} = 4 \times E_{c_1}$

O aumento de energia cinética seria três vezes o valor inicial: $E_{c_2} - E_{c_1} = 3 E_{c_1}$

Trabalho e energia cinética

Aprendeste já que o **trabalho** é uma medida da energia transferida entre sistemas devido à atuação de forças. Sabes também que um **corpo em movimento possui energia cinética**, mas, se estiver em repouso, só entrará em movimento se uma força atuar sobre ele (**Fig. 20**).

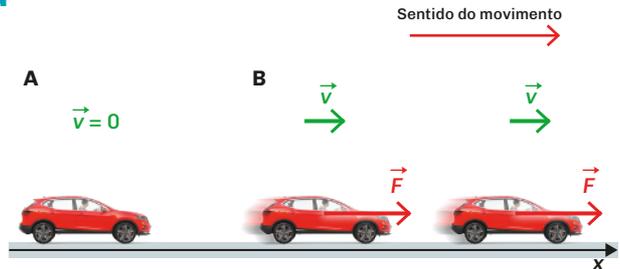


Fig. 20 A O carro, inicialmente em repouso, entrou em movimento, **B**, sob a ação da força \vec{F} .

Neste caso, a **força \vec{F}** , que atua no carro, **vai realizar trabalho** positivo (ou potente), **fornecendo energia ao carro**. O **carro**, ao entrar em movimento, **adquire energia cinética** como resultado do trabalho realizado pela força \vec{F} .

A **variação da energia cinética do carro, ΔE_c** , devido ao trabalho realizado pela força constante, \vec{F} , é **igual à diferença** entre a **energia cinética final, $E_{c_{final}}$** , e a **energia cinética inicial, $E_{c_{inicial}}$** , ou seja:

$$\Delta E_c = E_{c_{final}} - E_{c_{inicial}} \Leftrightarrow \Delta E_c = \frac{1}{2} m v_{final}^2 - \frac{1}{2} m v_{inicial}^2$$

Haverá alguma relação entre o trabalho realizado pela resultante das forças que atuam no carro e a variação da sua energia cinética?

No carro da **figura 20**, para além da força constante \vec{F} , também atuam o peso, \vec{P} , e a reação normal, \vec{N} . Estas duas forças, como são perpendiculares ao deslocamento, não realizam trabalho. Logo, $W_{\vec{F}_R} = W_{\vec{F}} \Rightarrow W_{\vec{F}_R} = F d \cos \theta$.

Como, neste caso, é $\theta = 0^\circ$, tem-se $\cos 0^\circ = 1$, ficando $W_{\vec{F}_R} = F d$ **(1)**

Sendo \vec{F} constante, pela Segunda Lei de Newton, também a aceleração, \vec{a} , é constante e o movimento é retilíneo uniformemente variado (acelerado, neste caso).

Recorrendo à Segunda Lei de Newton e à equação de Torricelli, $v^2 = v_0^2 + 2 a d$, podemos escrever a expressão (1) da seguinte forma:

$$W_{\vec{F}_R} = F d \Leftrightarrow W_{\vec{F}_R} = m a \frac{v^2 - v_0^2}{2 a} \Leftrightarrow W_{\vec{F}_R} = m \frac{v^2 - v_0^2}{2} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow W_{\vec{F}_R} = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 \Leftrightarrow W_{\vec{F}_R} = E_{c_{\text{final}}} - E_{c_{\text{inicial}}} \quad \text{ou} \quad W_{\vec{F}_R} = \Delta E_c$$

Esta relação entre o trabalho realizado pela resultante das forças que atuam num corpo em movimento de translação, durante um certo intervalo de tempo, e a variação da sua energia cinética constitui o **Teorema da Energia Cinética**.

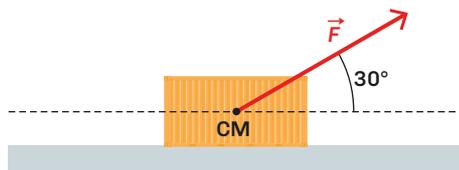


Teorema da Energia Cinética – o trabalho realizado pela resultante das forças que atuam num corpo em movimento de translação, durante um certo intervalo de tempo, é igual à variação da energia cinética do corpo, nesse intervalo de tempo.

$$W_{\vec{F}_R} = \Delta E_c$$

Exercício resolvido

- 7 Um bloco rígido, de massa 15 kg, encontra-se em repouso numa superfície horizontal, de atrito desprezável, quando lhe é aplicada uma força constante \vec{F} , com uma inclinação de 30° relativamente à direção horizontal, num dado intervalo de tempo. Durante o tempo de atuação da força, o bloco percorreu 20 m. A resultante das forças que atuaram no bloco, nesse intervalo de tempo, realizou um trabalho de 500 J.

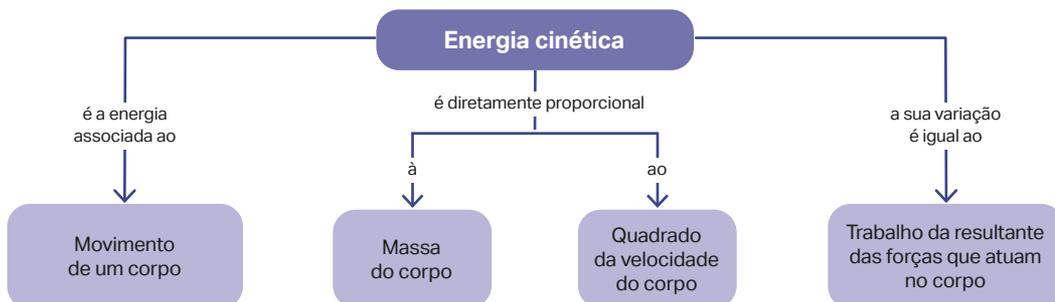


- 7.1 Qual foi a energia cinética adquirida pelo bloco nesse intervalo de tempo? Justifica.
- 7.2 Determina a intensidade da força aplicada no bloco.

Resolução:

- 7.1. Atendendo ao Teorema da Energia Cinética, $W_{\vec{F}_R} = \Delta E_c$, se o trabalho da resultante das forças foi de 500 J, então, a variação da energia cinética do bloco foi também de 500 J. Logo, o bloco, que se encontrava inicialmente em repouso, adquiriu uma energia cinética de 500 J.
- 7.2. Pelo Teorema da Energia Cinética, podemos determinar a intensidade da força \vec{F} aplicada no bloco: $W_{\vec{F}_R} = \Delta E_c$ e $W_{\vec{F}_R} = W_{\vec{F}} + W_{\vec{P}} + W_{\vec{N}}$
Como $W_{\vec{P}} = 0$ e $W_{\vec{N}} = 0$, pois as duas forças são perpendiculares ao deslocamento, tem-se: $W_{\vec{F}_R} = W_{\vec{F}}$.
Então, $W_{\vec{F}_R} = \Delta E_c \Rightarrow F d \cos 30^\circ = 500 \Leftrightarrow F \times 20 \times \cos 30^\circ = 500 \Leftrightarrow F = 28,9 \text{ N}$

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **energia cinética**, E_c , é a energia que está associada ao movimento de um corpo. A expressão que permite calcular o seu valor, conhecidas a massa e a velocidade do corpo, é:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

- A **energia cinética**, E_c , é **diretamente proporcional** à **massa** e ao **quadrado da velocidade**.
- **Teorema da Energia Cinética** – o trabalho realizado pela resultante das forças que atuam num corpo em movimento de translação, durante um certo intervalo de tempo, é igual à variação da energia cinética do corpo, nesse intervalo de tempo.

$$W_{\vec{R}} = \Delta E_c$$

Exercícios de aplicação

1 A energia cinética de um corpo...

- (A) é diretamente proporcional ao valor da sua velocidade.
 (B) é a energia que está associada ao movimento.
 (C) exprime-se em W no SI.
 (D) varia na razão inversa da sua massa.

2 A energia cinética de um corpo de massa 1,0 kg que se desloca com velocidade de valor $2,0 \text{ m s}^{-1}$ é igual a...

- (A) 1,0 J (B) 2,0 J (C) 3,0 J (D) 4,0 J

3 Um corpo de massa 200 g e velocidade de valor 36 km h^{-1} tem uma energia cinética de...

- (A) $3,6 \times 10^3 \text{ J}$ (B) $1,3 \times 10^2 \text{ J}$ (C) 3,6 J (D) 10 J

- 4** Duplicando o valor da velocidade de um corpo e reduzindo a sua massa para metade, a sua energia cinética...
- (A) aumenta para o dobro.
 (B) mantém-se inalterada.
 (C) reduz-se para metade.
 (D) aumenta para o quádruplo.
- 5** Um corpo A desloca-se com uma velocidade constante de 10 m s^{-1} e com uma energia cinética de 100 J , enquanto outro corpo B, de massa $1,0 \text{ kg}$, desloca-se com velocidade de igual valor, mas em sentido contrário. A razão entre as massas é...
- (A) $\frac{m_A}{m_B} = 2$ (B) $\frac{m_B}{m_A} = 2$ (C) $\frac{m_A}{m_B} = 1$ (D) $\frac{m_A}{m_B} = \frac{1}{2}$
- 6** Um camião carregado e um automóvel pequeno movem-se em linha reta e no mesmo sentido, ao longo de uma estrada horizontal, com a mesma energia cinética.
- 6.1.** O valor da velocidade do automóvel é maior, menor ou igual ao valor da velocidade do camião?
- 6.2.** O trabalho que deve ser realizado pela força do motor para fazer parar o automóvel é maior, menor ou igual ao trabalho que deve ser realizado para fazer parar o camião?
- 6.3.** Se os dois veículos forem travados por forças de igual intensidade, a distância percorrida pelo automóvel até parar será maior, menor ou igual à distância percorrida pelo camião?
- 7** Um corpo, de massa $2,0 \text{ kg}$, move-se em linha reta sobre uma superfície horizontal, com uma velocidade de $10,8 \text{ km h}^{-1}$. Num dado instante, passa a atuar sobre ele uma força, \vec{F} , com a mesma direção e sentido do movimento e, em $3,0 \text{ s}$, o corpo adquire uma velocidade de $7,0 \text{ m s}^{-1}$.
- 7.1.** Calcula a variação da energia cinética sofrida pelo corpo, nesse intervalo de tempo.
- 7.2.** Qual foi o trabalho realizado pela resultante das forças que atuam no corpo em movimento de translação? Apresenta a resposta em kJ.
- 7.3.** Qual foi a energia transferida para o corpo por ação da força \vec{F} ?

3.4. Teorema do trabalho e energia potencial

Energia potencial

A **energia potencial**, E_p , de um corpo é a **energia** que está **associada à interação desse corpo com outros corpos**, podendo assumir, como já vimos, a forma de energia potencial gravítica, de energia potencial elétrica ou de energia potencial elástica. Esta energia está associada à **energia armazenada e que se encontra em condições de ser aproveitada**.

Por exemplo, as águas de um rio (**Fig. 21**) ou uma pedra no alto de uma montanha têm energia potencial.

No caso da **energia potencial gravítica** de um sistema corpo-Terra, esta tem que ver com a **interação entre o corpo e a Terra**. Para um corpo próximo da superfície da Terra, **depende** da **massa** e da **altura** do corpo relativamente a uma superfície de referência, que normalmente é o solo, e do valor da **aceleração da gravidade**.



Fig. 21 As águas de um rio têm energia potencial.

$$E_p = m g h$$

Como podes constatar pela expressão anterior, que permite calcular o seu valor:

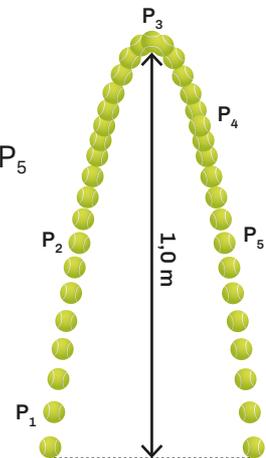
A **energia potencial gravítica**, num dado local da Terra, é **diretamente proporcional** à **massa do corpo** e à **altura a que se encontra** relativamente à superfície de referência.

Quanto **maior** for a **massa** do corpo, a uma dada altura do solo, **maior** será a sua **energia potencial gravítica**.

Quanto **maior** for a **altura** a que o corpo se encontra, **maior** será a sua **energia potencial gravítica**.

Exercício resolvido

- 8 Na figura, podes ver as sucessivas posições, P_1 , P_2 , P_3 , P_4 e P_5 do movimento de uma bola de ténis, de massa 57,0 g, registadas em intervalos de tempo iguais, após ressalto da bola no solo (nível de referência), considerando a resistência do ar desprezável e $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$. Na posição P_3 , a bola de ténis encontra-se a 1,0 m do solo.



- 8.1 Em qual das posições a energia potencial gravítica da bola é maior? Justifica.
- 8.2 Determina o valor da energia potencial gravítica da bola na posição P_3 .
- 8.3 Indica, justificando, duas posições em que a bola de ténis possua igual energia potencial gravítica.

Resolução:

- 8.1. A energia potencial gravítica, E_p , da bola é maior na posição P_3 , pois é nessa posição que a altura é maior. Como $E_p = m g h$, a bola de ténis, de massa m , num local da Terra com valor de aceleração da gravidade g , tem uma energia potencial gravítica tão maior quanto maior for a altura a que se encontre.
- 8.2. $E_p(P_3) = m g h_{P_3} \Rightarrow E_p(P_3) = 57,0 \times 10^{-3} \times 9,8 \times 1,0 \Leftrightarrow E_p(P_3) = 5,6 \times 10^{-1} \text{ J}$
- 8.3. A bola de ténis possui igual energia potencial gravítica nas posições que se encontrem à mesma altura do solo ($E_p = m g h$). Neste caso, as posições são P_2 e P_5 , pois $h_2 = h_5$.

Trabalho do peso e variação da energia potencial gravítica

Vamos agora verificar a relação entre o trabalho realizado pelo peso e a energia potencial gravítica de um corpo. Para isso, consideremos:

• Uma bola a ser lançada verticalmente para cima

Ao lançarmos uma bola verticalmente para cima (Fig. 22), com uma velocidade \vec{v}_0 , se desprezarmos a resistência do ar, a única força que atua na bola é o seu peso, \vec{P} .

Como $P = m g$, o valor do deslocamento, d , é, neste caso, igual à altura h que atingiu e $\theta = 180^\circ$, pois o peso e o deslocamento têm a mesma direção e sentidos opostos.

O trabalho realizado pelo peso da bola, na subida, é:

$$W_{\vec{P}} = m g h \cos 180^\circ \Leftrightarrow W_{\vec{P}} = m g h (-1) \Leftrightarrow W_{\vec{P}} = -m g h \quad (1)$$

Se calcularmos a **variação da energia potencial gravítica** neste trajeto, tem-se:

$$\Delta E_p = E_{p_{\text{final}}} - E_{p_{\text{inicial}}} \Leftrightarrow \Delta E_p = m g h_{\text{final}} - m g h_{\text{inicial}}$$

Como $h_{\text{inicial}} = 0$, uma vez que a bola é lançada do solo (nível de referência) é $h_{\text{final}} = h$.

Logo, $\Delta E_p = m g h \quad (2)$.

Comparando as expressões (1) e (2), verifica-se que o **trabalho realizado pelo peso** da bola é **simétrico da variação da energia potencial gravítica**.

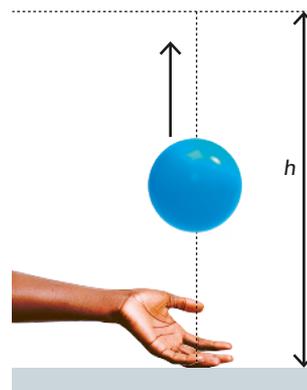


Fig. 22 Bola a ser lançada verticalmente para cima.

• **Uma bola a ser deixada cair verticalmente de uma altura h**

Consideremos, agora, a **mesma bola a ser deixada cair verticalmente** ($v_0 = 0$) **de uma altura h** (Fig. 23). Se desprezarmos a resistência do ar, a única força que atua na bola continua a ser o seu peso, \vec{P} .

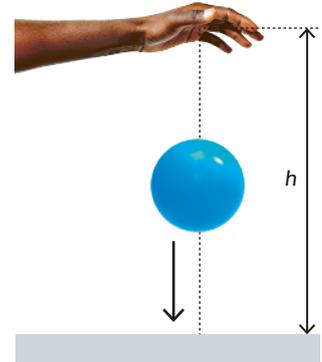


Fig. 23 Bola a ser deixada cair verticalmente.

O **trabalho realizado pelo peso da bola, na sua queda**, é:

$W_{\vec{P}} = m g h \cos 0^\circ$, pois, neste caso, o peso e o deslocamento têm a mesma direção e sentido. Então, sendo $\theta = 0^\circ$, tem-se: $W_{\vec{P}} = m g h \times 1 \Leftrightarrow W_{\vec{P}} = m g h$ (3)

Se calcularmos a **variação da energia potencial gravítica** neste trajeto, tem-se:

$$\Delta E_p = E_{p_{\text{final}}} - E_{p_{\text{inicial}}} \Leftrightarrow \Delta E_p = 0 - m g h \Leftrightarrow \Delta E_p = -m g h \quad (4)$$

Comparando as expressões (3) e (4), verifica-se que o **trabalho realizado pelo peso da bola é simétrico da variação da energia potencial gravítica**.

Teorema da Energia Potencial – O trabalho realizado pelo peso é simétrico da variação da energia potencial gravítica.

$$W_{\vec{P}} = -\Delta E_p$$

Manual Digital

Vídeos
Trabalho realizado pelo peso e variação da energia potencial gravítica



Resolução de problemas relacionando o trabalho realizado pelo peso com a variação da energia potencial gravítica



Exercício resolvido

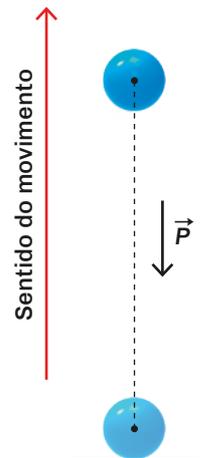
- 9 Lançou-se verticalmente para cima, a partir do solo, uma bola de massa 250 g, com uma velocidade inicial de 10 m s^{-1} .
Calcula, desprezando a resistência do ar:
- 9.1 o trabalho realizado pelo peso da bola, na subida.
- 9.2 o trabalho realizado pelo peso da bola ao cair.

Resolução

- 9.1. Quando se lança uma bola verticalmente para cima (desprezando a resistência do ar), a única força que atua na bola é o seu peso. Pelo Teorema da Energia Cinética, sabemos que $W_{\vec{F}_R} = \Delta E_c$, sendo, neste caso, $W_{\vec{F}_R} = W_{\vec{P}}$. Então, tem-se:

$$\begin{aligned} W_{\vec{P}} = \Delta E_c &\Leftrightarrow W_{\vec{P}} = E_{c_{\text{final}}} - E_{c_{\text{inicial}}} \Rightarrow W_{\vec{P}} = 0 - \frac{1}{2} m v_0^2 \Rightarrow \\ \Rightarrow W_{\vec{P}} &= -\frac{1}{2} \times 0,250 \times 10^2 \Leftrightarrow W_{\vec{P}} = -12,5 \text{ J} \end{aligned}$$

- 9.2. Como o trabalho realizado pelo peso da bola é simétrico da variação da energia potencial gravítica, $W_{\vec{P}} = -\Delta E_p$, na subida é $\Delta E_{p_{\text{subida}}} = 12,5 \text{ J}$ e na queda é $\Delta E_{p_{\text{queda}}} = -12,5 \text{ J}$, pois a altura h é a mesma; a diferença está só no aumento da energia potencial gravítica na subida e na diminuição da energia potencial gravítica na queda. Então, sendo $\Delta E_{p_{\text{queda}}} = -12,5 \text{ J}$, é $W_{\vec{P}(\text{na queda})} = 12,5 \text{ J}$.



Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **energia potencial**, E_p , de um corpo é a energia que está associada à interação desse corpo com outros corpos.
- A **energia potencial gravítica**, num dado local da Terra, é **diretamente proporcional** à **massa do corpo** e à **altura a que se encontra** relativamente à superfície de referência.

$$E_p = m g h$$

- O **trabalho realizado pelo peso** é **simétrico** da **variação da energia potencial gravítica**.

$$W_{\vec{p}} = -\Delta E_p$$

Exercícios de aplicação

- De que fatores depende a energia potencial gravítica de um corpo?
 - Da massa e da velocidade do corpo.
 - Da velocidade e da altura do corpo.
 - Da massa e da altura a que se encontra o corpo.
 - Depende apenas da altura a que se encontra o corpo.
- Uma pequena bola encontra-se em repouso nas mãos de um aluno, a uma altura de 50 cm relativamente ao solo. Considerando $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$ e sabendo que a massa da bola é 30 g, a sua energia potencial gravítica é igual a...

(A) 0 J, pois a bola está em repouso.	(C) $1,5 \times 10^2 \text{ J}$
(B) $1,5 \times 10^{-1} \text{ J}$	(D) $1,5 \times 10^4 \text{ J}$

 Seleciona a opção correta.
- Duas maçãs, A e B, encontram-se nos ramos de uma árvore, a uma altura do chão de 2,0 m e 3,0 m, respetivamente. Sabendo que a energia potencial gravítica das duas maçãs é igual, a razão entre as suas massas, $\frac{m_A}{m_B}$, é igual a...

(A) 0	(B) 0,67	(C) 1,0	(D) 1,5
-------	----------	---------	---------

 Seleciona a opção correta.

3.5. Forças conservativas e não conservativas. Conservação da energia mecânica

Forças conservativas e forças não conservativas

Vimos, no subtema F3.4, que o **trabalho realizado pelo peso** de uma **bola lançada verticalmente para cima** (de uma posição A para uma posição B, a uma altura h) é **simétrico** do **trabalho realizado pelo peso da mesma bola deixada cair verticalmente** da posição B para a posição A (Fig. 24).

$$W_{\vec{P}(A \rightarrow B)} = -W_{\vec{P}(B \rightarrow A)}$$

Se considerarmos o **percurso fechado, $A \rightarrow B \rightarrow A$** , em que a bola sobe e cai até à mesma posição de onde partiu, o **trabalho realizado pelo peso da bola é nulo**.

$$\begin{aligned} W_{\vec{P}(A \rightarrow B \rightarrow A)} &= W_{\vec{P}(A \rightarrow B)} + W_{\vec{P}(B \rightarrow A)} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow W_{\vec{P}(A \rightarrow B \rightarrow A)} &= -mgh + mgh \Leftrightarrow W_{\vec{P}(A \rightarrow B \rightarrow A)} = 0 \end{aligned}$$

Nestas condições, uma força, tal como o peso de um corpo, **diz-se conservativa**. O **trabalho realizado por uma força conservativa é nulo ao longo de um qualquer percurso fechado**, isto é, quando o corpo regressa à posição de onde partiu.

Uma **força conservativa** realiza um trabalho nulo ao longo de uma trajetória fechada qualquer.

O **trabalho realizado por uma força conservativa**, entre dois pontos, não depende da trajetória; **só depende das posições inicial e final**.

Considera, por exemplo, uma **esfera que se move de uma posição A para uma posição C** (Fig.25) segundo **duas trajetórias diferentes**:

- **Trajétória 1** – a esfera move-se diretamente de A para C (ao longo de um plano inclinado).
- **Trajétória 2** – a esfera move-se de A para B (verticalmente) e depois de B para C (horizontalmente).

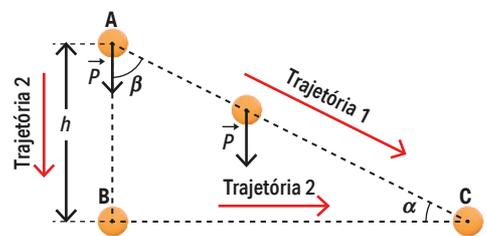


Fig. 25 Movimento de uma esfera, de uma posição A para uma posição C, segundo duas trajetórias diferentes.

Calculemos, agora, apenas o **trabalho do peso da esfera ao longo destas trajetórias**.

Trajétória 1

O **trabalho do peso da esfera de A para C**, ao longo do plano inclinado, é:

$W_{\vec{P}(A \rightarrow C)} = P \times d_{AC} \times \cos \beta$. Como $d_{AC} = \overline{AC}$ e $\cos \beta = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}}$, fica:

$$W_{\vec{P}(A \rightarrow C)} = m g \times \overline{AC} \times \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} \Leftrightarrow W_{\vec{P}(A \rightarrow C)} = m g \times \overline{AB}$$

Sendo $h = \overline{AB}$, tem-se $W_{\vec{P}(A \rightarrow C)} = m g h$

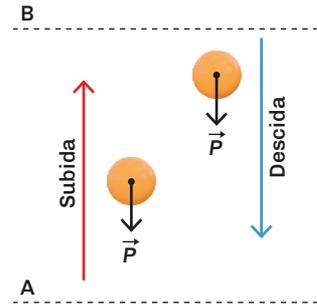


Fig. 24 Bola atirada verticalmente para cima e que depois cai.



Vídeo
Forças conservativas e não conservativas



Trajatória 2

O **trabalho do peso da esfera de A para C**, ao longo desta trajetória, é:

$$W_{\vec{P}(A \rightarrow C)} = W_{\vec{P}(A \rightarrow B)} + W_{\vec{P}(B \rightarrow C)}$$

Como o trabalho do peso da esfera entre B e C é nulo ($W_{\vec{P}(B \rightarrow C)} = 0$), pois o peso é perpendicular ao deslocamento ($\cos 90^\circ = 0$), tem-se: $W_{\vec{P}(A \rightarrow C)} = W_{\vec{P}(A \rightarrow B)}$

Sendo $W_{\vec{P}(A \rightarrow B)} = m g h \cos 0^\circ \Leftrightarrow W_{\vec{P}(A \rightarrow B)} = m g h$ (pois, $\cos 0^\circ = 1$), tem-se:

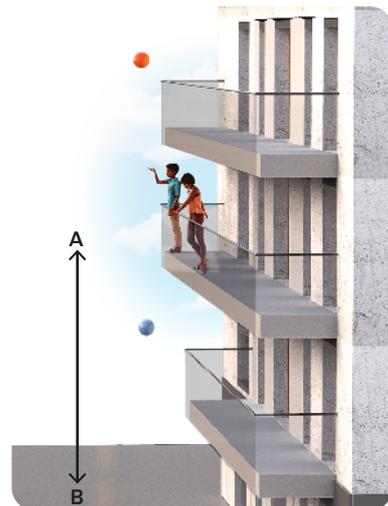
$$W_{\vec{P}(A \rightarrow C)} = W_{\vec{P}(A \rightarrow B)} + 0 \Leftrightarrow W_{\vec{P}(A \rightarrow C)} = m g h$$

Concluimos, assim, que o **trabalho realizado pelo peso** da esfera segundo a **trajetória 1** é igual ao **trabalho realizado pelo peso** da esfera segundo a **trajetória 2**.

O **trabalho realizado por uma força conservativa**, entre dois pontos, não depende da trajetória; **só depende das posições inicial e final**.

Exercício resolvido

- 10 O Rafael e a Luana estavam na varanda do 2.º andar (posição A) do prédio onde moram e atiraram para a rua (posição B) duas bolas iguais. O Rafael atirou a bola verticalmente para cima e a Luana atirou-a verticalmente para baixo. A varanda encontra-se a 7,0 m do solo e a massa de cada bola é de 400 g. Considera $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$. Calcula:
- 10.1 o trabalho realizado pelo peso da bola da Luana.
- 10.2 o trabalho realizado pelo peso da bola do Rafael, justificando.



Resolução

10.1. Sendo $W_{\vec{P}} = m g h \cos \theta \Rightarrow W_{\vec{P}_{\text{bola Luana}}} = 0,400 \times 9,8 \times 7,0 \times \cos 0^\circ \Leftrightarrow W_{\vec{P}_{\text{bola Luana}}} = 27 \text{ J}$

10.2. Como o Rafael atirou a bola verticalmente para cima, esta subiu até uma dada altura e depois desceu passando pelo ponto de partida (varanda). Sendo o trabalho do peso na subida simétrico do trabalho do peso na descida, entre as mesmas posições, o trabalho realizado pelo peso da bola do Rafael é igual ao trabalho do peso da bola da Luana.

$$W_{\vec{P}_{\text{bola Rafael}}} = W_{\vec{P}_{\text{bola Rafael}}} \Rightarrow W_{\vec{P}_{\text{bola Rafael}}} = 27 \text{ J}$$

Para além do peso, há outras forças conservativas, como, por exemplo, a força elástica e a força eletrostática.

Forças como a **resistência do ar** e as **forças de atrito** são **forças não conservativas**. O trabalho realizado por estas forças num percurso fechado não é nulo.

Energia mecânica

À soma da energia cinética de um corpo com a sua energia potencial dá-se o nome de **energia mecânica**, E_m .

$$E_m = E_c + E_p \Leftrightarrow E_m = \frac{1}{2} m v^2 + m g h$$

Os dois tipos fundamentais de energia podem transformar-se um no outro, isto é, a energia cinética pode transformar-se em energia potencial gravítica e vice-versa.

Por exemplo, quando uma pedra cai ou as águas do rio caem em cascata (Fig.26), a energia potencial transforma-se em energia cinética capaz de exercer força e movimentar outros corpos.

Nestes exemplos, a energia potencial diminui e a energia cinética aumenta, durante a queda.



Fig. 26 Numa queda-d'água, há transformação de energia potencial gravítica em energia cinética.

A **energia mecânica**, E_m , é igual à soma da energia cinética, E_c , de um corpo com a sua energia potencial gravítica, E_p .

Conservação da energia mecânica

Sabemos, pelo Teorema da Energia Cinética, que o **trabalho realizado pela resultante das forças** que atuam num corpo em movimento de translação, durante um certo intervalo de tempo, é igual à variação da energia cinética do corpo.

$$W_{\vec{F}_R} = \Delta E_c$$

Sabemos também que, quando num corpo atuam apenas **forças conservativas**, o **trabalho realizado por essas forças** é simétrico da variação da energia potencial.

$$W_{\vec{F}_{\text{cons.}}} = -\Delta E_p$$

Por outro lado, **se num corpo só atuam forças conservativas** e/ou forças não conservativas que não realizem trabalho, podemos escrever $W_{\vec{F}_R} = W_{\vec{F}_{\text{cons.}}}$. Logo,

$$\Delta E_c = -\Delta E_p \Leftrightarrow \Delta E_c + \Delta E_p = 0 \Leftrightarrow \Delta E_m = 0 \Rightarrow E_m = \text{constante}$$

Dizer que a energia mecânica se mantém constante significa que, se a energia cinética diminui, a energia potencial aumenta de um valor igual e que, se a energia cinética aumenta, a energia potencial diminui de um valor igual, de forma que a soma das duas se mantenha constante.

Lei da Conservação da Energia Mecânica – Quando sobre um sistema só atuam forças conservativas e/ou forças não conservativas que não realizem trabalho, a energia mecânica mantém-se constante.

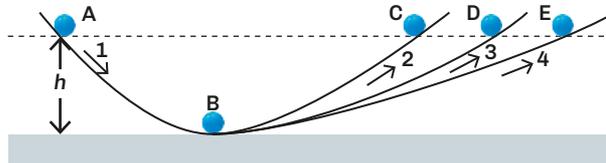


Vídeo
Conservação
da energia
mecânica



Exercício resolvido

- 11 Galileu previu que uma bola, largada de uma determinada altura numa rampa sem atrito, rolaria exatamente até à mesma altura numa outra rampa semelhante e sem atrito, independentemente do comprimento real da trajetória. A altura de que é largada uma bola de massa 100 g é $h = 2,0$ m, na rampa 1. As rampas 2, 3 e 4 têm inclinações diferentes. Considera $g = 9,8$ m s⁻².



- 11.1 Qual é o valor da energia potencial gravítica da bola em A?
- 11.2 Indica as transformações de energia que ocorrem quando a bola desce de A para B e depois sobe até C.
- 11.3 Determina a energia mecânica da bola na posição B.

Resolução

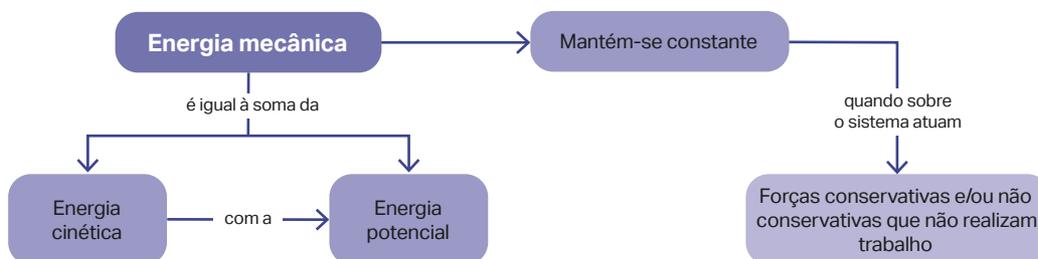
11.1. $E_p(A) = m g h_A \Rightarrow E_p(A) = 0,100 \times 9,8 \times 2,0 \Leftrightarrow E_p(A) = 2,0$ J

11.2. Pela conservação da energia mecânica, é $E_m(A) = E_m(B) = E_m(C)$.

Em A, a bola só tem energia potencial gravítica. À medida que desce de A para B, há transformação de energia potencial em energia cinética. Em B (nível de referência), a bola só tem energia cinética; a energia potencial é nula. À medida que sobe de B para C, há transformação de energia cinética em energia potencial, mantendo-se constante a soma das duas em cada instante. Em C, a bola volta a ter só energia potencial.

11.3. $E_m(A) = E_p(A) = 2,0$ J ($E_c(A) = 0$ J). Como $E_m(A) = E_m(B)$, é $E_m(B) = 2,0$ J

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- Uma **força conservativa** realiza trabalho nulo ao longo de uma trajetória fechada.
- O **trabalho realizado por uma força conservativa**, entre dois pontos, não depende da trajetória; só depende das posições inicial e final.
- A **energia mecânica**, E_m , é igual à soma da energia cinética, E_c , de um corpo com a sua energia potencial gravítica, E_p .

$$E_m = E_c + E_p \Leftrightarrow E_m = \frac{1}{2} m v^2 + m g h$$

- **Lei da Conservação da Energia Mecânica** – Quando sobre um sistema só atuam forças conservativas e/ou forças não conservativas que não realizem trabalho, a energia mecânica mantém-se constante.

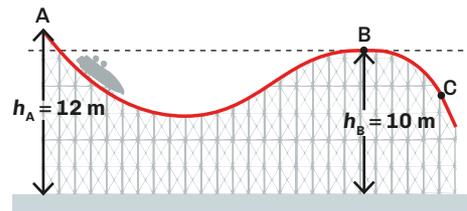
$$E_m = \text{constante} \Leftrightarrow \Delta E_m = 0 \Leftrightarrow \Delta E_p = -\Delta E_c$$

Exercícios de aplicação

- 1** A figura representa uma montanha-russa, onde o carrinho percorre a linha de carris ABC sem que ocorra dissipação de energia.

Considera $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$. Se o carrinho partir da posição A, sem velocidade inicial, ele passará pela posição B com uma velocidade de valor...

- (A) $3,5 \text{ m s}^{-1}$ (B) $8,0 \text{ m s}^{-1}$
(C) $11,8 \text{ m s}^{-1}$ (D) $6,3 \text{ m s}^{-1}$



- 2** Um corpo, de massa $1,0 \text{ kg}$, é atirado verticalmente para cima, do terraço de um prédio a 20 m de altura, com $v_0 = 5,0 \text{ m s}^{-1}$. Considera a resistência do ar desprezável e $g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$.

2.1. A que altura acima do terraço subiu o corpo?

2.2. Considerando o solo como nível de referência, qual é a energia potencial gravítica máxima do corpo no seu movimento?

2.3. Qual é o trabalho do peso do corpo no percurso terraço – altura máxima – terraço?

2.4. O corpo atinge o solo com uma energia...

- (A) cinética de $12,5 \text{ J}$.
(B) cinética de $12,5 \text{ J}$, que corresponde à energia cinética no instante de lançamento.
(C) potencial gravítica igual à diferença entre a energia potencial gravítica ao nível do terraço e ao nível do solo.
(D) mecânica de $2,1 \times 10^2 \text{ J}$.
(E) potencial gravítica de $2,0 \times 10^2 \text{ J}$.

TEMA 1.1.

página 24

1. (A) V; (B) F; (C) F; (D) F.

página 25

2.1. Trajetória retilínea.

2.2.1. Em $t = 0$ s, $x = 18,0$ m; em $t = 30,0$ s, $x = 0$ m.

2.2.2. [15,0; 21,0] s. 2.2.3. [12,0; 15,0] s.

2.2.4. $t = 15,0$ s, na posição $x = 3,0$ m e $t = 21,0$ s, na posição $x = 12,0$ m.

2.3. O aluno iniciou o movimento na posição $x = 18,0$ m. Nos primeiros 12,0 s percorreu 15,0 m, no sentido negativo, passando da posição $x = 18,0$ m para a posição $x = 3,0$ m. Em [12,0; 15,0] s, esteve em repouso na posição $x = 3,0$ m. Entre $t = 15,0$ s e $t = 21,0$ s, percorreu 9,0 m, no sentido positivo, passando da posição $x = 3,0$ m para a posição $x = 12,0$ m. Em $t = 21,0$ s, inverteu o sentido do movimento. Entre $t = 21,0$ s e $t = 30,0$ s, percorreu 12,0 m, no sentido negativo, passando da posição $x = 12,0$ m para a posição $x = 0$ m, onde terminou o movimento.

3.1.1. $\Delta x = 60 \times 10^3$ m (60 km)

3.1.2. $\Delta x = -20 \times 10^3$ m (-20 km)

3.2. Ponto de aplicação – ponto A; direção – eixo dos xx; sentido – de A para C; módulo – igual ao módulo do deslocamento: $|\Delta x| = 20 \times 10^3$ m (20 km)

3.3. $s = 140 \times 10^3$ m (140 km)

página 26

4. $s = 15$ m 5. (A)

6.1. Não. No [0; 10] s, deslocou-se no sentido positivo, pois $x_f > x_i$, e, no [10; 20] s, deslocou-se no sentido negativo, pois $x_f < x_i$.

6.2. Nos instantes $t = 5$ s e $t = 20$ s.

6.3. No [0; 5] s, $v = 3,2$ m s⁻¹; no [5; 10] s, $v = 1,6$ m s⁻¹; no [10; 20] s, $v = -0,8$ m s⁻¹

7.1. A subir (o valor da velocidade diminui com o tempo, até atingir a altura máxima ($v = 0$)).

7.2. $h_{\text{máx}} = 30$ m

página 27

8.1.1. Sentido positivo (a componente escalar da velocidade é positiva).

8.1.2. Não (a componente escalar da velocidade é sempre positiva).

8.1.3. Não (a componente escalar da velocidade é sempre diferente de zero).

8.1.4. [10,0; 20,0] s (o módulo da velocidade diminui).

8.2. $v = 30$ m s⁻¹; 8.3. $s = 25$ m; 8.4. $s = 150$ m.

9.1. (A) 9.2. (B)

TEMA 1.2.

página 51

1. (A) F; (B) F; (C) V; (D) V.

página 52

2.1. As duas partículas movimentam-se no sentido positivo do eixo dos xx.

2.2. O movimento da partícula A é retardado e o movimento da partícula B é acelerado.

2.3. $a_x(A) = -2,5$ m s⁻²; $a_x(B) = 1,25$ m s⁻²

2.4.1. $\Delta x_A = 15$ m; $\Delta x_B = 7,5$ m 2.4.2. $\Delta x_A = 15$ m; $\Delta x_B = 7,5$ m

3.1. Desloca-se no sentido negativo do eixo dos xx.

3.2. (A) 3.3. $x = 7,4$

4. (D)

página 53

5. (D)

6.1. O intervalo de tempo [0; Y] representa o tempo de reação do condutor.

6.2. (B) 6.3. (D)

7.1. Sim; 7.2. $\Delta t = 7$ s; 7.3. $a_m = -2,86$ m s⁻²

7.4. Movimento retilíneo uniformemente retardado.

7.5. Os veículos não colidiram.

página 54

8. (C) 9. (B) 10. (A) 11. (B)

12.1. (B); 12.2. $v_0 = 4,0$ m s⁻¹

12.3. $v = 4,0 - 9,8 t$ (SI); 12.4. $t_{\text{ar}} = 0,82$ s

TEMA 1.3.

página 65

1. (A) F; (B) V; (C) F; (D) F. 2. (A) F; (B) F; (C) F; (D) V.

página 66

3.1. $T = 5,0$ s e $f = 0,2$ Hz; 3.2. $v = 0,13$ m s⁻¹

3.3. $\omega = 1,3$ rad s⁻¹; 3.4. $a_c = 0,17$ m s⁻²

4. (C)

5.1. O módulo da velocidade angular é igual para as duas pessoas.

5.2. A frequência é igual.

5.3. O módulo da velocidade linear da pessoa que está no equador é maior.

5.4. O módulo da aceleração centrípeta é maior para a pessoa que está no equador.

6. (B)

página 67

7.1. $a_c = 1,0$ m s⁻²

7.2. O valor da aceleração centrípeta do automóvel passaria a ser quatro vezes maior.

8.1. $\omega_B = 2 \omega_A$; 8.2. $T_A = 2 T_B$; 8.3. $v_A = v_B$ 8.4. $F_c = 2 F_{c_A}$

9. (A) 10. (A)

TEMA 2.1.

página 98

1. (A) V; (B) V; (C) F; (D) F.

2. (A) V. (B) F. $a = -6,5$ m s⁻²
(C) F. O movimento do bloco é retilíneo e acelerado.
(D) V.

3. (B)

página 99

4.1. $\Delta v = -8,0$ m s⁻¹ 4.2. $a_m = -1,0$ m s⁻² 4.3. $F_R = -800$ N

5. (A) – (III); (B) – (I); (C) – (II).

6.1. $a = -3,7$ m s⁻²

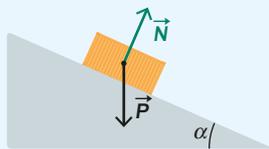
6.2. Intensidade: 4440 N; Direção: a do movimento;
Sentido: contrário ao do movimento ($v > 0$ e $F < 0$);
Ponto de aplicação: no centro de massa do automóvel.

6.3. $a_2 = 2 a_1$

Soluções

página 100

7.1.

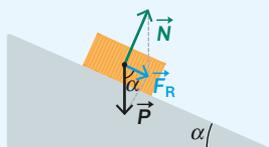


\vec{P} – Peso do corpo;
 \vec{N} – Reação normal do plano

7.2. \vec{P} – Peso do corpo tem:
Ponto de aplicação – no centro de massa do corpo;
Direção – vertical; Sentido – de cima para baixo;
Intensidade – calculada por $P = m g$.

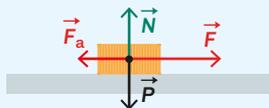
\vec{N} – Reação normal do plano tem:
Ponto de aplicação – no centro de massa do corpo;
Direção – perpendicular ao plano inclinado;
Sentido – de baixo para cima na direção perpendicular ao plano inclinado;
Intensidade – calculada por $N = P \cos \alpha$.

7.3.



7.4. Segundo o eixo dos yy é: $F_{Ry} = 0$
Segundo o eixo dos xx é: $F_{Rx} = m g \sin \alpha$

8.1.



\vec{P} – Peso do corpo; \vec{N} – Reação normal do plano;
 \vec{F} – força aplicada no bloco; \vec{F}_a – força de atrito.

8.2. \vec{P} – o peso do corpo resulta da interação gravítica entre a Terra e o bloco.
 \vec{N} – a reação normal do plano resulta da interação entre o plano e o bloco.
 \vec{F} – a força \vec{F} resulta da interação entre o corpo que exerce essa força no bloco e o bloco.
 \vec{F}_a – a força de atrito resulta da interação entre a mesa e o bloco.

8.3. São a força \vec{F} e a força de atrito, \vec{F}_a . 9. $m = 5,5 \text{ kg}$.

página 101

10.1. $\theta = 33^\circ$; 10.2. (D)

11.1. (C); 11.2.1. $m_{\text{carrinho}} = 0,16 \text{ kg}$; 11.2.2. $P = 0,23 \text{ N}$

TEMA 3.1.

página 117

1. (D); 2. (B); 3. (A); 4. (C); 5. (B); 6. (A)

página 118

7. (C); 8. (A); 9. (A) V; (B) F; (C) V; (D) F.

10. (D); 11. (A) F; (B) F; (C) F; (D) V.

TEMA 3.2.

página 130

1. (A) F; (B) F; (C) V; (D) V; (E) F.

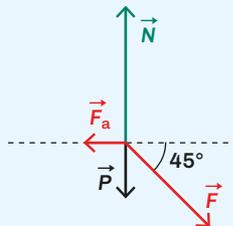
2. (A)

3.1. $W_{\vec{P}} = 196 \text{ J}$

3.2. $W_{\vec{P}} > 0$. Foi transferida energia para o corpo.

página 131

4.1.



\vec{N} – Reação normal
 \vec{P} – Peso do carrinho
 \vec{F}_a – Força de atrito
 \vec{F} – Força exercida pela Ana

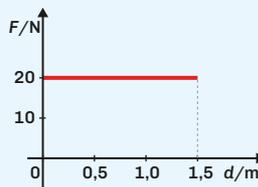
4.2.1. $|\vec{N}| > |\vec{P}|$; 4.2.2. $F_{\text{eficaz}} = 7,1 F_a$

4.3. São as forças \vec{F}_a e \vec{F} . \vec{P} e \vec{N} não realizam trabalho, pois são perpendiculares ao deslocamento ($\cos 90^\circ = 0$).

4.4. $W_{\vec{F}_a} = 4,9 \times 10^3 \text{ J}$; 4.5. Seria maior.

5.1. $W_{\vec{F}} = 30 \text{ J}$

5.2.



5.3. $W_{\vec{F}} = 30 \text{ J}$

página 132

6. (A) V; (B) F; (C) F; (D) V; (E) F. 7. (E)

8. (A) F; (B) V; (C) F; (D) V; (E) V.

9.1. (A)

página 133

9.2. (D)

10.1. (D); 10.2. (B)

TEMA 3.3.

página 134

1. (B) 2. (B) 3. (D)

página 135

4. (A) 5. (A)

6.1. É maior.

6.2. O trabalho realizado pela força do motor é igual.

6.3. A distância percorrida é igual.

7.1. $\Delta E_c = 40 \text{ J}$ 7.2. $W_{\vec{F}_a} = 4,0 \times 10^{-2} \text{ kJ}$ 7.3. 40 J .

TEMA 3.4.

página 139

1. (C) 2. (B) 3. (D)

TEMA 3.5.

página 144

1. (D)

2.1. $h = 1,3 \text{ m}$ 2.2. $E_{p_{\text{máx}}} = 2,1 \times 10^2 \text{ J}$

2.3. $W_{\vec{P}} = 0$. 2.4. (D)

Soluções

página 93

- 1 – raio atômico; 2 – energia de ionização; 3 – aumenta; 4 – níveis de energia; 5 – diminui; 6 – carga nuclear; 7 – aumentam; 8 – diminuem. 9 – elemento químico; 10 – substâncias elementares.
- 2.1.1. A 2.1.2. J 2.1.3. D
- 2.2. $C - 1s^2 2s^2 2p^5$
- 3.1. Os dois elementos, Na e Mg, pertencem ao mesmo período da TP e o Mg possui maior número de prótons para o mesmo número de níveis de energia, por isso os seus elétrons são mais fortemente atraídos. Assim, é necessário fornecer uma maior energia ao magnésio para lhe remover um elétron, possuindo o magnésio maior energia de ionização do que o sódio.
- 3.2. $\text{raio}(Cl) < \text{raio}(Mg) < \text{raio}(Na)$
- 3.3. O cátion sódio tem menos um elétron do que o átomo de sódio, o qual ocupa o subnível s do nível 3 (orbital 3s), possuindo, assim, mais um nível do que o cátion.
- 3.4. O anião cloreto tem mais um elétron do que o átomo de cloro e o mesmo número de prótons no núcleo. O anião, por ter mais elétrons, apresenta mais repulsões eletrônicas e, conseqüentemente, a nuvem eletrônica mais dilatada do que a do átomo, pelo que, o raio do anião é superior ao raio do átomo que lhe deu origem.

TEMA 3

página 110

- 1 – aumenta; 2 – diminui; 3 – van der Waals; 4 – hidrogénio; 5 – dipolo permanente-dipolo permanente; 6 – polares; 7 – apolares; 8 – forças de dispersão de London; 9 – apolares; 10 – ligações de hidrogénio; 11 – nitrogénio; 12 – oxigénio; 13 – flúor; 14 – maior; 15 – maiores.
- 2.1. A – dipolo instantâneo-dipolo induzido (ou forças de dispersão de London); B – ligações de hidrogénio.
- 2.2. As ligações do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido têm menor intensidade do que as ligações de hidrogénio. Quanto maior for a intensidade das ligações intermoleculares, maiores serão os p. f. e p. e. Como entre as moléculas da substância A se estabelecem ligações dipolo instantâneo-dipolo induzido e nas moléculas da substância B, ligações de hidrogénio, a substância B apresenta um ponto de ebulição superior ao da substância A.
- 3.1. (a) Dipolo instantâneo-dipolo induzido. (b) Ligações de hidrogénio. (c) Dipolo instantâneo-dipolo induzido. (d) Ligações de hidrogénio. (e) Dipolo permanente-dipolo induzido.
- 3.2. As moléculas de amoníaco são polares. Dado que as moléculas das duas substâncias apresentam átomos de hidrogénio ligados a átomos muito eletronegativos, estabelecem-se predominantemente ligações de hidrogénio. Como “semelhante dissolve semelhante”, as duas substâncias são miscíveis entre si.

página 119

- 1 – metálicos; 2 – não metálicos; 3 – fracas; 4 – covalentes; 5 – iónicos; 6 – moleculares; 7 – moleculares; 8 – iónicos; 9 – covalentes; 10 – iões; 11 – forças eletrostáticas; 12 – átomos ou moléculas; 13 – ligações de van der Waals e/ou de hidrogénio.

2. I – d – iv; II – c – ii; III – a – iii; IV – b – i.
3. Devido ao facto de as ligações intermoleculares nos cristais moleculares serem significativamente mais fracas do que as ligações covalentes e iónicas.

página 129

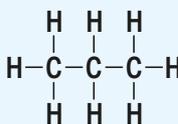
1. Verdadeiras: B, D e F; falsas: A, C e E.
2. 1 – A; 2 – C; 3 – B.
- 3.1. N_2 e O_2 .
- 3.2. Por exemplo, Ne.
- 3.3. CO_2 , CH_4 , CFC, O_3 e N_2O
- 3.4. Transportes e indústrias.
- 3.5. Usar transportes públicos, adotar hábitos de reutilização e reciclagem e utilizar fontes renováveis de energia.

TEMA 4

página 141

1. Verdadeiras: B, C e E; falsas: A e D.
- 2.1. Copo 1: $v_m = 20 \text{ mg s}^{-1}$; Copo 2: $v_m = 50 \text{ mg s}^{-1}$.
- 2.2. Quanto maior for a temperatura, maior será a velocidade de dissolução.
3. (A)
4. (D)

página 151

1. Verdadeiras: B e E; falsas: A, C, D e F.
- 2.1.    
- 2.2.1. $\Delta H_{\text{reação}} = -2053 \text{ kJ mol}^{-1}$
- 2.2.2. Quando $\Delta H_{\text{reação}} < 0$, a reação é exoenergética; quando $\Delta H_{\text{reação}} > 0$ a reação é endoenergética. Neste caso, o processo é exotérmico.
- 2.3. A temperatura do sistema reacional aumenta.
- 2.4. a) Energia absorvida na rutura de ligações; b) Energia libertada na formação de ligações; c) Calor libertado na reação.
3. Destacam-se na formação das chuvas ácidas o SO_2 e o NO_x e, como gás com efeito de estufa, o CO_2 .

página 171

1. Verdadeiras: A, B, C e D; falsa: E.
2. Os vegetais cultivados em solos com excesso de fertilizantes nitrogenados possuem elevada concentração de nitratos. O consumo regular destes alimentos está associado a riscos para a saúde, como distúrbios digestivos e efeitos cancerígenos. Os nitratos podem ser convertidos em nitritos, que podem formar nitrosaminas, substâncias cancerígenas presentes em alimentos processados ou na água potável contaminada. Os nitritos, ao oxidar o Fe^{2+} , presente na hemoglobina, a Fe^{3+} , impedem-na de transportar o oxigénio de forma eficaz, comprometendo a respiração, e podendo até conduzir à morte.
3. I – A; II – C; III – B.
4. 1 – luz; 2 – radicais; 3 – desemparelhados; 4 – estratosférico; 5 – filtro; 6 – retém; 7 – camada de ozono; 8 – troposférico; 9 – mau; 10 – poluente.

Explora o manual digital do teu livro

Exercícios Interativos

Para resolução com *feedback* imediato.



Vídeos e interatividades

Explicam a matéria de forma motivadora.



Jogos

Exploram os conceitos curriculares de forma lúdica.



Áudios

Dão vida aos textos e ajudam a reforçar as competências linguísticas.



QuizEV

Desafiam-te a mostrares o que sabes. Podes, também, jogar com os teus amigos.



www.escolavirtual.cv



Física e Química 10.º ano

Criação intelectual
Cristina Celina Silva
(Componente de Química)

Noémia Maciel
Carlos Azevedo
(Componente de Física)

Revisão científica
Universidade de Cabo Verde

Design
Porto Editora

Créditos fotográficos
Cavan Images/Alamy
Stock Photo/
Fotobanco.pt (capa
comp. de Física)
Depositphotos.com

Grzegorz Czapzki/
Alamy/Fotobanco.pt
(comp. Química: p. 96)
©Pedro Moita (comp.
Física: p. 6, 71, 106, 107;
comp. Química: p.
18, 126, 132)
Porto Editora

Science Photo/
Fotobanco.pt (comp.
Física: p. 104)
Shutterstock.com
Stock.Adobe.com

Edição
2025

Este manual segue
o programa experimental
da disciplina, publicado pelo
Ministério da Educação.