

A-0 Grandezas, Unidades e Medições

O desenvolvimento científico e tecnológico passou a exigir medições cada vez mais rigorosas em muitos domínios, nomeadamente em Física. Daí a necessidade de convenções internacionais para definir unidades básicas e regras na medição de grandezas. Assim surgiu o Sistema Internacional de Unidades (SI).

1 Grandezas e Unidades do Sistema Internacional

O Sistema Internacional de Unidades (SI) foi obtido por acordo internacional e estabelece, para cada grandeza, uma unidade que é utilizada não só no ensino e na investigação científica, mas também nas empresas.

A partir da medição de uma grandeza física obtém-se um resultado que se exprime por um número e pela respetiva unidade.

O SI baseia-se num conjunto de unidades de base e de unidades derivadas (obtidas a partir das unidades de base, dividindo-as ou multiplicando-as).

A tabela seguinte apresenta as unidades de base do SI, os seus símbolos e nomes, assim como os nomes das grandezas de base e os respetivos símbolos recomendados.

Tabela 1

GRANDEZA DE BASE		UNIDADE SI	
NOME	SÍMBOLO	NOME	SÍMBOLO
comprimento	l, L	metro	m
massa	m	quilograma	kg
tempo	t	segundo	s
corrente elétrica	I	ampere	A
temperatura termodinâmica	T	kelvin	K
quantidade de matéria	n	mole	mol
intensidade luminosa	I_v	candela	cd

Na tabela seguinte representam-se algumas grandezas derivadas e seus símbolos, e unidades e símbolos que as representam.

Tabela 2

GRANDEZA DERIVADA		UNIDADE SI	
NOME	SÍMBOLO	NOME	SÍMBOLO
superfície	A, S	metro quadrado	m^2
volume	V	metro cúbico	m^3
velocidade	v	metro por segundo	$m \cdot s^{-1}$
aceleração	a	metro por segundo quadrado	$m \cdot s^{-2}$
força	F	newton	N
pressão	p, P	pascal	Pa
energia	E	joule	J
trabalho	W	joule	J
potência	P	watt	W
frequência	f, ν	hertz	Hz
velocidade angular	ω	radiano por segundo	$rad \cdot s^{-1}$
quantidade de calor	Q, q	joule	J
temperatura Celsius	θ	grau Celsius	$^{\circ}C$

Escrever os símbolos das grandezas e unidades obedece a várias regras, tais como:

- Os símbolos das **grandezas físicas** representam-se por letras em *itálico*;

Exemplo: massa - m

- Os símbolos das **unidades físicas** são impressos em **carateres romanos** (direitos); são escritos em **minúsculas**, mas, se o nome da unidade derivar de um nome próprio, a primeira letra do símbolo é **maiúscula**, em **homenagem ao cientista**;

Exemplos: quilograma – kg

newton - N

• As **unidades derivadas** indicam-se separadas por:

- um **espaço** ou um **ponto a meia altura**, se é formada pelo **produto** de duas ou mais unidades;

Exemplo: newton metro - N m ou N·m

- uma **barra oblíqua (/)**, uma **barra horizontal** ou **expoentes negativos**, se é formada pela divisão de duas unidades; quando divide por mais do que uma unidade e se utiliza a barra oblíqua, estas são indicadas dentro de um parêntese;

Exemplos: radiano por segundo - rad/s ou $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ou $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$

metro por segundo quadrado - m/s^2 ou $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ou $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

joule por quilograma kelvin - $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ ou $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ou $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

- Os símbolos das unidades não têm plural, mas os respetivos nomes têm;
- Os símbolos dos prefixos são impressos em caracteres romanos direitos, sem espaço entre o símbolo do prefixo e o símbolo da unidade;
- Deixa-se sempre um espaço entre o número e a unidade.

Existem múltiplos e submúltiplos decimais para as unidades SI que são representados por prefixos. Na tabela seguinte indicam-se os que frequentemente são mais utilizados.

Tabela 3

MÚLTIPLOS			SUBMÚLTIPLOS		
NOME DO PREFIXO	SÍMBOLO DO PREFIXO	FATOR MULTIPLICADOR	NOME DO PREFIXO	SÍMBOLO DO PREFIXO	FATOR MULTIPLICADOR
tera	T	10^{12}	deci	d	10^{-1}
giga	G	10^9	centi	c	10^{-2}
mega	M	10^6	mili	m	10^{-3}
quilo	k	10^3	micro	μ	10^{-6}
			nano	n	10^{-9}
			pico	p	10^{-12}

Estes prefixos acrescentam-se ao nome da unidade ou ao símbolo, sem qualquer separação.

2 Medição em Física

2.1 Algarismos significativos

Os algarismos significativos são dígitos com significado no resultado de uma medição e devem indicar a incerteza com que ela foi efetuada.

Qualquer resultado de uma medição tem que ser coerente com as divisões da escala do instrumento de medida usado e é expresso pelos algarismos significativos, que podem ser:

- dígitos exatos (concordantes com as divisões da escala);
- um dígito aproximado ou incerto (correspondente a uma fração da menor divisão da escala, por estimativa).

Exemplo: O valor 4,37 apresenta três algarismos significativos: dois exatos (4 e 3) e um incerto (7) que pode ter sido lido por estimativa, por exemplo, entre dois traços contíguos da escala.

2.1.1 Contagem dos algarismos significativos

- Os algarismos significativos contam-se da esquerda para a direita a partir do primeiro algarismo diferente de zero, pois os zeros à esquerda não contam como algarismos significativos.

Exemplos: 0,023780 tem cinco algarismos significativos

7,00 tem três algarismos significativos

0,5 tem um algarismo significativo

- Não contam como algarismos significativos as potências de base 10.

Exemplos: $4,3 \times 10^5$ tem dois algarismos significativos

$2,00 \times 10^{-2}$ tem três algarismos significativos

6×10^3 tem um algarismo significativo

- Quando se faz uma redução de unidades, o número de algarismos significativos permanece constante.

Exemplos: $200 \text{ mL} = 0,200 \text{ L} = 200 \times 10^{-3} \text{ L}$ têm três algarismos significativos

$4,0 \text{ km} = 4,0 \times 10^3 \text{ m}$ têm dois algarismos significativos (e não poderá ser 4000 m, pois teria quatro algarismos significativos)

$12,6 \text{ cm}^3 = 0,0126 \text{ dm}^3 = 12,6 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 = 1,26 \times 10^{-2} \text{ dm}^3$ têm três algarismos significativos

2.1.2 Algarismos significativos após operações matemáticas

- Soma e subtração: o resultado deve ter tantas casas decimais quantas as da parcela com menos casas decimais.

Exemplos: $132 - 0,7 = 131,3 \rightarrow 131$ resultado sem casas decimais

$6,534 + 2,6 = 9,134 \rightarrow 9,1$ resultado com uma casa decimal

- Multiplicação e divisão: o resultado deve ter tantos algarismos significativos quantos tiver o fator com menos algarismos significativos.

Exemplos: $3,10 \times 1,972 = 6,1132 \rightarrow 6,11$ resultado com três algarismos significativos

$$4,5 \div 123,59 = 0,0364107 \rightarrow 0,036 \text{ resultado com dois algarismos significativos}$$

- Operações sucessivas: pode fazer-se o arredondamento apenas no resultado final, o que é mais prático quando se usa máquina de calcular.

Exemplos: $3,28 \times 5,40 = 17,712$

$$17,712 \times 2,04 = 36,13248 \rightarrow 36,1$$

- Arredondamentos

Escolhe-se a casa decimal onde se quer fazer a aproximação:

- despreza-se o algarismo seguinte se for inferior a 5;

Exemplos: $2,962 \rightarrow 2,96$

$$7,927 \rightarrow 7,9$$

- acrescenta-se uma unidade a essa casa decimal, se o algarismo seguinte for superior a 5;

Exemplos: $2,968 \rightarrow 2,97$

$$8,997 \rightarrow 9,00$$

$$5,04623 \rightarrow 5,05$$

- se o algarismo seguinte à casa escolhida for 5, analisa-se essa casa decimal. Se esta for par, mantém o algarismo, se for ímpar, acrescenta-se uma unidade a essa casa decimal.

Exemplos: $2,965 \rightarrow 2,96$

$$8,3459 \rightarrow 8,34$$

$$2,975 \rightarrow 2,98$$

$$8,3559 \rightarrow 8,36$$

2.2 Medições e incertezas associadas

A Física, como ciência experimental, realiza atividades, efetua medições de grandezas físicas e recolhe dados, quer para confirmar teorias, quer para comparar resultados obtidos, ou ainda para prever outros resultados.

A medição consiste na operação de comparar o valor de uma dada grandeza com a respetiva unidade padrão. A medida é o resultado da medição.

As medições podem ser diretas ou indiretas. Medir a temperatura, a massa ou um comprimento, por exemplo, faz-se diretamente com um instrumento que compara o valor da grandeza com a unidade padrão. No entanto, a medida de uma área ou da massa volúmica de uma substância requer medições diretas seguidas do seu cálculo através de uma relação matemática, sendo, pois, exemplos de medições indiretas.

Qualquer medição é sempre afetada por erros inerentes ao próprio processo e por isso há sempre uma incerteza associada à medida. Assim, uma medida deve conter a seguinte informação:

$$\text{medida} = (\text{valor numérico} \pm \text{incerteza}) \text{ unidade}$$

2.2.1 Determinação de incertezas quando se faz apenas uma medição

Uma medição implica ler uma escala num aparelho e ao erro máximo que se pode cometer chama-se incerteza absoluta de leitura. Nesse processo, normalmente adota-se a seguinte regra:

- Se o aparelho for analógico, toma-se como incerteza absoluta de leitura metade da menor divisão da escala.

Exemplo: o resultado da medição de um comprimento, com uma régua cuja menor divisão da escala é o milímetro, foi de 5,74 cm e deve ser apresentado como: $\ell = (5,74 \pm 0,05) \text{ cm}$ ou $\ell = (57,4 \pm 0,5) \text{ mm}$

- Se o aparelho for digital, toma-se como incerteza absoluta de leitura a menor divisão da escala.

Exemplo: o resultado da medição de uma massa numa balança digital cuja menor divisão da escala é a décima do grama, foi de 10,6 g e deve ser apresentado como: $m = (10,6 \pm 0,1) \text{ g}$

O aparelho de medida, analógico ou digital, pode indicar expressamente o valor da incerteza, também referido como «erro» ou «precisão» do aparelho.

2.2.2 Determinação de incertezas quando se fazem várias medições

Quando se fazem várias medições da mesma grandeza e em iguais condições, obtêm-se diferentes valores, pois ocorrem erros acidentais. Uma forma de controlar este tipo de erros é efetuar pelo menos cinco medições (x_1, x_2, \dots, x_n) e calcular o valor médio, \bar{x} , que vai ser o valor mais provável para a medida.

Para um número n de medições:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Como a maior parte dos resultados são diferentes do valor médio, pode-se calcular o desvio de uma medida, δ_i , como a diferença entre cada valor x_i e o valor médio.

$$\delta_i = x_i - \bar{x}$$

E, toma-se como incerteza o módulo do maior dos desvios calculados, que se designa por incerteza absoluta de observação, $|\delta_{max}|$.

Se esta incerteza for superior à incerteza absoluta de leitura, a medida resultante das várias medições será dada por:

$$x = \bar{x} \pm |\delta_{max}|$$

Deste modo, o intervalo para o valor da medida será $[\bar{x} - \delta_{max}; \bar{x} + \delta_{max}]$

Também é possível determinar a percentagem de erro associado à medida resultante das várias medições, que se denomina incerteza relativa e que é o quociente entre a incerteza absoluta e o valor mais provável:

$$\delta_r = \frac{|\delta_{max}|}{\bar{x}} \times 100$$

2.2.3 Exatidão e precisão

A exatidão indica a proximidade entre os valores medidos e o valor verdadeiro. Quando não se conhece o valor verdadeiro da grandeza não se pode falar de exatidão.

Para verificar se um valor medido é muito ou pouco exato pode-se determinar o erro percentual:

$$\text{Erro percentual (\%)} = \frac{|\text{valor tabelado} - \text{valor medido}|}{\text{valor tabelado}} \times 100$$

A precisão indica a concordância entre os vários valores medidos, ou seja, a repetibilidade da medida. Uma grande precisão significa que há pouca dispersão entre os valores.

Um conjunto de medidas onde os valores obtidos se aproximam muito do real e se situam muito próximos uns dos outros corresponde a medidas muito exatas e muito precisas.



boa precisão, má exatidão

má precisão, má exatidão

boa precisão, boa exatidão

Figura 1 – Exatidão e precisão.

Resumo

- **Sistema Internacional (SI)** resulta de um acordo internacional que estabelece, para cada grandeza, uma unidade que é utilizada não só no ensino e na investigação científica, mas também nas empresas.
- **Algarismos significativos** são dígitos com significado no resultado de uma medição e devem indicar a incerteza com que ela foi efetuada.
- **Valor médio** é o valor mais provável para uma medida, quando se fazem várias medições.
- **Desvio de uma medida** é a diferença entre cada valor medido e o valor médio.
- **Incerteza absoluta de leitura** é metade da menor divisão da escala, nos aparelhos analógicos, e é a menor divisão da escala, nos aparelhos digitais.
- **Incerteza absoluta de observação** é o módulo do maior dos desvios.
- **Exatidão** mede a proximidade entre os valores medidos e o valor correto.
- **Precisão** mede a concordância entre os vários valores medidos, ou seja, a repetibilidade da medida.