

O SI não é estático mas evolui de modo a acompanhar os requisitos globais cada vez mais exigentes para medições a todos os níveis de exatidão e em todas as áreas da ciência, tecnologia e desenvolvimento humano.

As sete **unidades de base** do SI, constituem o fundamento que permite definir todas as unidades de medida do Sistema Internacional. Com o avançar da ciência e refinamento dos métodos de medição, é imperativo que estas definições sejam revistas e melhoradas, dando cada vez mais cuidado às suas realizações.

As sete **grandezas de base** correspondentes às sete **unidades de base** são o comprimento, a massa, o tempo, a corrente elétrica, a temperatura termodinâmica, a quantidade de matéria e a intensidade luminosa. As **grandezas de base** e as suas **unidades de base** estão listadas juntamente com os símbolos correspondentes na Tabela seguinte.

Grandezas de base e unidades de base do SI

Grandeza de base	Símbolo	Unidade de base	Símbolo
comprimento	l, h, r, x	metro	m
massa	m	quilograma	kg
tempo, duração	t	segundo	s
corrente elétrica	I, i	ampere	A
temperatura termodinâmica	T	kelvin	K
quantidade de matéria	n	mole	mol
intensidade luminosa	I_v	candela	cd

As restantes grandezas são designadas por **grandezas derivadas** e são expressas usando **unidades derivadas** que são definidas como produtos de potências de unidades de base.

Grandeza As sete unidades de base do SI

Grandeza	Unidade, símbolo: definição da unidade
comprimento	metro, m: O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz, no vácuo, durante um intervalo de tempo de $1/299\,792\,458$ do segundo. <i>Como consequência, a velocidade da luz no vácuo, c_0, é exatamente igual a $299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$.</i>
massa	quilograma, kg: O quilograma é a unidade de massa; é igual à massa do protótipo internacional do quilograma. <i>Como consequência, a massa do protótipo internacional do quilograma, $m(\mathcal{K})$, é sempre exatamente igual a 1 kg.</i>
tempo	segundo, s: O segundo é a duração de $9\,192\,631\,770$ períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental de um átomo de césio 133. <i>Como consequência, o desdobramento hiperfino do estado fundamental de um átomo de césio 133, $\nu(\text{Hfs Cs})$ é exatamente igual a $9\,192\,631\,770\text{ Hz}$.</i>
corrente elétrica	ampere, A: O ampere é a intensidade de corrente constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de secção circular desprezável e colocados à distância de 1 metro um do outro no vácuo, produziria entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento. <i>Como consequência, a constante magnética, μ_0, também designada como permeabilidade do vácuo, é exatamente igual a $4\pi \times 10^{-7}\text{ N A}^{-2}$.</i>
temperatura termodinâmica	kelvin, K: O kelvin, a unidade de temperatura termodinâmica, é a fração $1/273,16$ da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água. <i>Como consequência, a temperatura termodinâmica do ponto triplo da água, T_{ptw}, é exatamente igual a $273,16\text{ K}$.</i>
quantidade de matéria	mole, mol: A mole é a quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos os átomos existentes em $0,012$ quilograma de carbono 12. Quando se utiliza a unidade mole, as entidades elementares têm de ser especificadas e podem ser átomos, moléculas, iões, eletrões, outras partículas ou grupos bem definidos dessas partículas. <i>Como consequência, a massa molar do carbono 12, $M(^{12}\text{C})$, é exatamente igual a 12 g mol^{-1}.</i>
intensidade luminosa	candela, cd: A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e cuja intensidade energética nessa direção é $1/683$ watt por esterradiano. <i>Como consequência, a eficácia luminosa espectral, K, da radiação monocromática de frequência $540 \times 10^{12}\text{ Hz}$ é exatamente igual a 683 lm W^{-1}.</i>

Algumas Constantes Fundamentais

de acordo com os valores recomendados pelo *Committee on Data for Science and Technology* (CODATA) de 2010. Os dígitos entre parênteses correspondem à incerteza-padrão (para um fator de expansão $k=1$) sobre os dois últimos algarismos.

Alguns valores CODATA

Grandeza	Símbolo	Valor
velocidade da luz no vácuo	c, c_0	$2,997\,924\,58 \times 10^8\text{ m s}^{-1}$ (valor exato)
permeabilidade do vácuo	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}\text{ N A}^{-2}$ (valor exato)
carga elementar	e	$1,602\,176\,565(35) \times 10^{19}\text{ C}$
constante gravitacional newtoniana	G	$6,673\,84(80) \times 10^{-11}\text{ m}^3\text{ kg}^{-1}\text{ s}^{-2}$
massa do eletrão	m_e	$9,109\,382\,91(40) \times 10^{-31}\text{ kg}$
massa do próton	m_p	$1,672\,621\,777(74) \times 10^{-27}\text{ kg}$
constante de Planck	h	$6,626\,069\,57(29) \times 10^{-34}\text{ J s}$
constante de Avogadro	N_A, L	$6,022\,141\,29(27) \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$
constante de Faraday	F	$96\,485,336\,5(21)\text{ C mol}^{-1}$
constante de Boltzmann	k	$1,380\,648\,8(13) \times 10^{23}\text{ J K}^{-1}$
constante universal dos gases perfeitos	R	$8,314\,462\,1(75)\text{ J mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$



O Bureau International des Poids et Mesures, foi estabelecido pelo Artigo 1º da Convenção do Metro, em 20 de maio de 1875 e tem como objetivo fornecer a base para um sistema de unidades de medida único e coerente para ser usado mundialmente.

Sob os auspícios da Convenção do Metro, foram feitos protótipos internacionais para o metro e para o quilograma, oficialmente aprovados pela primeira *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM), em 1889. Ao longo do tempo, este sistema foi evoluindo e atualmente contempla sete unidades de base. Em 1960, na 11ª CGPM foi decidido que deveria chamar-se Sistema Internacional de Unidades, o SI.

Exemplos de grandezas derivadas e suas unidades

Grandeza derivada	Símbolo	Unidade derivada	Símbolo
superfície	A	metro quadrado	m^2
volume	V	metro cúbico	m^3
velocidade	v	metro por segundo	m s^{-1}
aceleração	a	metro por segundo quadrado	m s^{-2}
número de onda	$\sigma, \tilde{\nu}$	metro à potência menos um	m^{-1}
massa volúmica	ρ	quilograma por metro cúbico	kg m^{-3}
massa superficial	ρ_A	quilograma por metro quadrado	kg m^{-2}
volume mássico	v	metro cúbico por quilograma	$\text{m}^3\text{ kg}^{-1}$
densidade de corrente	j	ampere por metro quadrado	A m^{-2}
campo magnético	H	ampere por metro	A m^{-1}
concentração (de quantidade de matéria)	c	mole por metro cúbico	mol m^{-3}
concentração mássica	ρ, γ	quilograma por metro cúbico	kg m^{-3}
luminância luminosa	L_v	candela por metro quadrado	cd m^{-2}
índice de refração	n	(o número) um	1
permeabilidade relativa	μ_r	(o número) um	1

O índice de refração e a permeabilidade relativa são exemplos de grandezas adimensionais, para as quais a unidade SI é o número um (1), se bem que nunca se escreve esta unidade.

Algumas **unidades derivadas** receberam um **nome especial**, sendo este simplesmente uma forma compacta para designar a expressão de combinações de **unidades de base** usadas com frequência. Assim, por exemplo, o joule, símbolo J, é por definição igual a $\text{m}^2\text{ kg s}^{-2}$. Atualmente, há 22 nomes especiais para unidades aprovadas para uso no SI e estes estão listados na Tabela seguinte.

Sistema Internacional de Unidades



A Metrologia é a ciência da medição e das suas aplicações



Instituto Português da Qualidade

Unidades derivadas com nomes especiais no SI

Grandeza derivada	Nome da unidade derivada	Símbolo	Expressão em outras unidades SI
ângulo plano	radiano	rad	$\text{m m}^{-1} = 1$
ângulo sólido	esterradiano	sr	$\text{m}^2\text{ m}^{-2} = 1$
frequência	hertz	Hz	s^{-1}
força	newton	N	m kg s^{-2}
pressão, tensão	pascal	Pa	$\text{N m}^{-2} = \text{m}^{-1}\text{ kg s}^{-2}$
energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	$\text{N m} = \text{m}^2\text{ kg s}^{-2}$
potência, fluxo energético	watt	W	$\text{J s}^{-1} = \text{m}^2\text{ kg s}^{-3}$
carga elétrica, quantidade de eletricidade	coulomb	C	s A
diferença de potencial elétrico, força eletromotriz	volt	V	$\text{W A}^{-1} = \text{m}^2\text{ kg s}^{-3}\text{ A}^{-1}$
capacidade elétrica	farad	F	$\text{C V}^{-1} = \text{m}^{-2}\text{ kg}^{-1}\text{ s}^4\text{ A}^2$
resistência elétrica	ohm	Ω	$\text{V A}^{-1} = \text{m}^2\text{ kg s}^{-3}\text{ A}^{-2}$
condutância elétrica	siemens	S	$\text{A V}^{-1} = \text{m}^{-2}\text{ kg}^{-1}\text{ s}^3\text{ A}^2$
fluxo de indução magnética, fluxo magnético	weber	Wb	$\text{V s} = \text{m}^2\text{ kg s}^{-2}\text{ A}^{-1}$
indução magnética, densidade de fluxo magnético	tesla	T	$\text{Wb m}^{-2} = \text{kg s}^{-2}\text{ A}^{-1}$
indutância	henry	H	$\text{Wb A}^{-1} = \text{m}^2\text{ kg s}^{-2}\text{ A}^{-2}$
temperatura Celsius	grau Celsius	$^{\circ}\text{C}$	K
fluxo luminoso	lúmen	lm	$\text{cd sr} = \text{cd}$
iluminância	lux	lx	$\text{lm m}^{-2} = \text{m}^{-2}\text{ cd}$
atividade de um radionúclídeo	becquerel	Bq	s^{-1}
dose absorvida, energia mássica, kerma	gray	Gy	$\text{J kg}^{-1} = \text{m}^2\text{ s}^{-2}$
equivalente de dose, equivalente de dose ambiental, equivalente de dose individual	sievert	Sv	$\text{J kg}^{-1} = \text{m}^2\text{ s}^{-2}$
atividade catalítica	katal	kat	$\text{s}^{-1}\text{ mol}$

Múltiplos e submúltiplos decimais das unidades SI

Quando se pretende exprimir os valores das grandezas que são ou muito maiores, ou muito menores do que a unidade SI a utilizar, foi adotado um conjunto de prefixos que estão listados na Tabela seguinte. Podem ser usados com qualquer uma das **unidades de base** e com qualquer uma das **unidades derivadas** com nomes especiais.

Os prefixos combinam-se com o nome da unidade para formar uma única palavra e, do mesmo modo, o símbolo do prefixo e o da unidade são escritos sem qualquer espaço de modo a formar um único símbolo, que pode ser elevado a uma qualquer potência. Por exemplo, podemos escrever:

quilometro, km; microvolt, μV ; femtosegundo, fs;

50 V/cm = 50 V (10⁻² m)⁻¹ = 5000 V/m.

O conjunto das **unidades de base** e das **unidades derivadas** usadas sem qualquer prefixo forma o denominado conjunto das **unidades coerentes** cuja utilização tem vantagens técnicas (veja-se a *Brochure sur le SI*). No entanto, o uso dos prefixos é prático porque evita a necessidade de introduzir potências de base 10 para exprimir valores de grandezas muito grandes ou muito pequenas. Por exemplo, é mais prático exprimir o comprimento de uma ligação química em nanómetros, nm, do que em metros, m, e a distância entre Londres e Paris em quilómetros, km, do que em metros, m.

O quilograma, kg, é uma exceção a esta regra por ser uma **unidade base** cujo nome já inclui um prefixo, por razões históricas. Múltiplos e submúltiplos do quilograma escrevem-se combinando prefixos com o grama: assim escreve-se miligrama, mg, e não microquilograma, μkg .

A linguagem da ciência: usar o SI para exprimir os valores das grandezas

O valor de uma grandeza escreve-se como o produto de um número por uma unidade e o número que multiplica a unidade é o valor numérico da grandeza dessa unidade. Deixa-se sempre um espaço em branco entre o número e a unidade. Para grandezas adimensionais, cuja unidade é o número um, a unidade “um” é omitida. O valor numérico depende da escolha da unidade, de modo que o mesmo valor de uma grandeza pode ter diferentes valores numéricos quando expressa em unidades diferentes, como nos exemplos seguintes.

A velocidade de uma bicicleta é aproximadamente $v = 5,0 \text{ m/s} = 18 \text{ km/h}$.
O comprimento de onda de uma das riscas amarelas do sódio é igual a $\lambda = 5,896 \times 10^{-7} \text{ m} = 589,6 \text{ nm}$.

Os símbolos das grandezas são impressos em itálico, sendo normalmente constituídos por uma letra isolada do alfabeto latino ou grego. Pode usar-se uma maiúscula ou minúscula e qualquer informação adicional sobre a grandeza pode ser justaposta em subscrito ou entre parênteses.

Para muitas grandezas, existem símbolos recomendados por diversas autoridades como a ISO (Organização Internacional de Normalização) e por várias associações científicas internacionais como a IUPAP e a IUPAC. São exemplos:

<i>T</i>	para temperatura
<i>C_p</i>	para capacidade calorífica a pressão constante
<i>x_i</i>	para fração molar da espécie <i>i</i>
μ_r	para permeabilidade relativa
<i>m</i> (<i>K</i>)	para a massa do protótipo internacional do quilograma <i>K</i>

Os símbolos das unidades são impressos em caracteres romanos (direito), independentemente do tipo usado no corpo do texto. São entidades matemáticas e não abreviaturas, por isso eles nunca são seguidos por um ponto, exceto no final de uma frase, nem por um “s” para o plural.

Unidades não SI

Por ser o único sistema de unidades universalmente reconhecido, o SI tem a vantagem clara de estabelecer uma linguagem universal. As unidades não SI, são geralmente definidas em função das unidades SI. O uso do SI também simplifica o ensino da ciência. Por todas estas razões, o uso das unidades SI é recomendado em todos os campos da ciência e da tecnologia.

Todavia, algumas unidades não SI são ainda amplamente usadas. Por exemplo, as unidades de tempo, como a hora, o minuto e o dia estão profundamente enraizadas na nossa cultura. Outras unidades continuam a ser utilizadas por razões históricas, para atender às necessidades de grupos específicos, ou porque não há uma alternativa prática no SI. Será sempre a prerrogativa de um cientista usar as unidades que mais convêm para um determinado efeito. No entanto, quando as unidades não SI são utilizadas, o fator de conversão para o SI deve sempre ser mencionado. Algumas unidades não SI estão listadas na Tabela seguinte bem como os seus fatores de conversão para o SI. Uma lista mais completa encontra-se na *Brochure sur le SI*, ou no sítio da internet do BIPM.

Algumas unidades não SI

Grandeza	Unidade	Símbolo	Valores em unidades SI
tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 3600 s
	dia	d	1 d = 86 400 s
volume	litro	L ou l	1 L = 1 dm ³
massa	tonelada	t	1 t = 1 000 kg
energia	eletrão-volt	eV	1 eV \approx 1,602 x 10 ⁻¹⁹ J
pressão	bar	bar	1 bar = 100 kPa
	milímetro de mercúrio	mmHg	1 mmHg \approx 133,3 Pa
comprimento	ångstrom	Å	1 Å = 10 ⁻¹⁰ m
	milha náutica	M	1 M = 1 852 m
superfície	are	a	1 a = 10 ² m ²
nível	neper	Np	1 Np = 1
(ver ISO 80 000-1)	bel	B	1 B = [(1/2) ln 10] Np

Os símbolos das unidades podem por vezes ter mais de uma única letra. São sempre escritos em letras minúsculas, exceto quando a unidade deriva de um nome próprio de alguém, caso em que primeira letra deverá ser maiúscula. No entanto, quando o nome de uma unidade é escrito por extenso, deve começar com uma letra minúscula (exceto no início de uma frase), para distinguir o nome da unidade do da pessoa. O uso da forma correta para símbolos de unidades é obrigatório e é ilustrado pelos exemplos contidos na *Brochure sur le SI*.

Ao escrever o valor de uma grandeza como o produto de um valor numérico por uma unidade, tanto o número como a unidade seguem as regras normais das operações algébricas. Por exemplo, a equação $T = 293 \text{ K}$ pode também ser escrita como $T/\text{K} = 293$. Muitas vezes, é útil usar a razão de uma grandeza pela sua unidade para designar as colunas de tabelas, ou os eixos de gráficos, de maneira que as entradas de uma tabela ou as divisões de um eixo sejam simplesmente representadas por números. O exemplo seguinte mostra uma tabela de valores da pressão de vapor em função da temperatura e do logaritmo da pressão de vapor em função do inverso da temperatura, com as colunas designadas desta forma.

<i>T</i> /K	10 ³ <i>K</i> / <i>T</i>	<i>p</i> /MPa	ln(<i>p</i> /MPa)
216,55	4,6179	0,5180	-0,6578
273,15	3,6610	3,853	1,2846
304,19	3,2874	7,3815	1,9990

Algebricamente podem usar-se formas equivalentes a 10³ *K*/*T*, como *kK*/*T*, ou 10³ (*T*/*K*)⁻¹.

Ao escrever produtos ou quocientes de unidades, aplicam-se as regras normais da álgebra. Na formação de produtos de unidades, deve ser deixado um espaço em branco entre as unidades ou, alternativamente, colocar-se um ponto centrado a meia altura como um símbolo da multiplicação. Para perceber a importância do espaço em branco, repare-se por exemplo, que m s representa o produto de um metro por um segundo, mas ms representa um milissegundo. Adicionalmente ao escrever produtos de unidades mais complexos, devem usar-se parênteses ou expoentes negativos para evitar ambiguidades. Por exemplo, a constante de gás perfeito *R* é dada por:

$$pV_m/T = R = 8,314 \text{ Pa m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 8,314 \text{ Pa m}^3/(\text{mol K})$$

Algumas notas

Os símbolos das unidades começam com letra maiúscula quando derivam do nome de uma pessoa (por exemplo, ampere, A; kelvin, K; hertz, Hz; coulomb, C). Caso contrário, começam sempre com uma letra minúscula (por exemplo, metro, m; segundo, s; mole, mol). O símbolo para o litro é uma exceção: pode usar-se ou uma letra minúscula ou um L maiúsculo. Neste caso, é permitido usar a letra maiúscula para evitar confusão entre a letra l minúscula e o número um, 1. O símbolo para a milha náutica é aqui apresentado como M, embora não haja um acordo generalizado sobre qualquer símbolo para a milha náutica.

Embora o hertz e o becquerel sejam ambos iguais ao inverso do segundo, o hertz só é usado para fenómenos periódicos e o becquerel para processos estocásticos de decaimento radioativo.

A unidade de temperatura Celsius é o grau Celsius, °C, cuja amplitude é igual à do kelvin, K, a unidade de temperatura termodinâmica. A grandeza temperatura Celsius, *t*, está relacionada com a temperatura termodinâmica, *T*, pela equação $t/^\circ\text{C} = T/\text{K} - 273,15$.

Para cada grandeza, existe apenas uma unidade SI, embora possa muitas vezes ser expressa de diferentes maneiras usando nomes especiais. No entanto, a mesma unidade SI pode ser usada para exprimir os valores de diversas grandezas diferentes (por exemplo, a unidade SI J/K pode ser usada para exprimir o valor de capacidade calorífica e o de entropia). Por conseguinte, é importante não usar a unidade sozinha para especificar uma grandeza medida. Isto aplica-se tanto para textos científicos e técnicos como para instrumentos de medição (ou seja, os dados produzidos por um instrumento devem indicar tanto a unidade como a grandeza medida).

As grandezas adimensionais, também chamadas de grandezas de dimensão um, são geralmente definidas como a razão entre duas grandezas de mesma natureza (por exemplo, índice de refração é a razão de duas velocidades, e permeabilidade relativa é a razão entre a permeabilidade de um meio dielétrico e a do vazio). A unidade SI de uma grandeza adimensional é a razão entre duas unidades SI idênticas, e é sempre igual a um. Contudo, ao exprimir os valores das grandezas adimensionais, a unidade “um”, 1, não se escreve.

Na escrita de um número, o separador decimal pode ser um ponto ou uma vírgula, conforme a origem do documento. Para documentos no idioma Inglês, utiliza-se um ponto, mas, para muitos idiomas da Europa e em vários outros países, é vulgar utilizar-se uma vírgula.

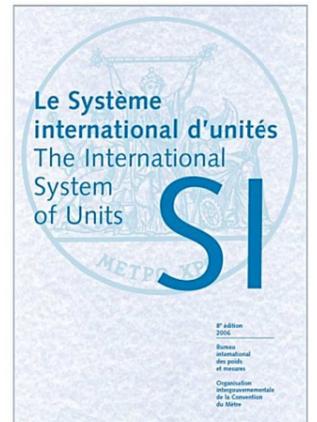
Em números com muitos algarismos, é costume juntá-los em grupos de três em torno do separador decimal para facilitar a leitura. Não é obrigatório, mas é comum porque é útil. Quando isso for feito, os grupos de três algarismos devem ser separados apenas por um espaço (fino), não utilizando nem o ponto, nem a vírgula. A incerteza associada ao valor numérico de uma grandeza pode muitas vezes ser mostrada fornecendo a incerteza-padrão relativamente aos últimos algarismos significativos, após o valor, entre parênteses.

Exemplo: O valor da carga elementar na lista das constantes fundamentais do CODATA 2010 é $e = 1,602\ 176\ 565\ (35) \times 10^{-19} \text{ C}$, onde o número entre parênteses, 35, é o valor numérico da incerteza-padrão dada na unidade de medida referida no algarismo decimal menos significativo, i.e. $u(e) = 0,000\ 000\ 035 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Instituto Português da Qualidade

Rua António Gião, 2
2829-513 CAPARICA
PORTUGAL

Tel (+ 351) 21 294 81 00 E-mail: metrologia@ipq.pt
Fax (+ 351) 21 294 81 01 URL: www.ipq.pt



Data de impressão novembro de 2015

Versão adaptada da tradução para português realizada pela Sociedade Portuguesa de Química em 2011 após autorização do BIPM que fica com a proteção total internacional dos direitos de autor. O BIPM não aceita nenhuma responsabilidade para relevância, exatidão, abrangência ou qualidade da informação e dos elementos disponibilizados por nenhuma das traduções. O único texto oficial é o texto em francês do documento original criado pelo BIPM.