

# SI

## Tradução da publicação do BIPM Resumo do Sistema Internacional de Unidades - SI

*A metrologia é a ciência da medição, abrangendo todas as medições realizadas num nível conhecido de incerteza, em qualquer domínio da atividade humana.*



*O protótipo internacional do quilograma,  $K$ , o único padrão materializado, ainda em uso, para definir uma unidade de base do SI.*

O Bureau International de Pesos e Medidas, o BIPM, foi criado pelo artigo 1º da Convenção do Metro, no dia 20 de maio de 1875, com a responsabilidade de estabelecer os fundamentos de um sistema de medições, único e coerente, com abrangência mundial. O sistema métrico decimal, que teve origem na época da Revolução Francesa, tinha por base o metro e o quilograma. Pelos termos da Convenção do Metro, assinada em 1875, os novos protótipos internacionais do metro e do quilograma foram fabricados e formalmente adotados pela primeira Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), em 1889. Este sistema evoluiu ao longo do tempo e inclui, atualmente, sete unidades de base. Em 1960, a 11ª CGPM decidiu que este sistema deveria ser chamado de Sistema Internacional de Unidades, SI (*Système international d'unités*, SI). O SI não é estático, mas evolui de modo a acompanhar as crescentes exigências mundiais demandadas pelas medições, em todos os níveis de precisão, em todos os campos da ciência, da tecnologia e das atividades humanas. Este documento é um resumo da publicação do SI, uma publicação oficial do BIPM que é uma declaração do status corrente do SI.

As sete **unidades de base** do SI, listadas na tabela 1, fornecem as referências que permitem definir todas as unidades de medida do Sistema Internacional. Com o progresso da ciência e com o aprimoramento dos métodos de medição, torna-se necessário revisar e aprimorar periodicamente as suas definições. Quanto mais exatas forem as medições, maior deve ser o cuidado para a realização das unidades de medida.

**Tabela 1 - As sete unidades de base do SI**

<b>Grandeza</b>	<b>Unidade, símbolo : definição da unidade</b>
<b>comprimento</b>	<b>metro, m :</b> 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>Assim, a velocidade da luz no vácuo, <math>c_0</math>, é exatamente igual a 299 792 458 m/s.</i>
<b>massa</b>	<b>quilograma, kg:</b> O quilograma é a unidade de massa, igual à massa do protótipo internacional do quilograma. <i>Assim, a massa do protótipo internacional do quilograma, <math>m(K)</math>, é exatamente igual a 1kg.</i>
<b>tempo</b>	<b>segundo, s:</b> O segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133. <i>Assim, a frequência da transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio 133, <math>\nu(\text{hfs Cs})</math>, é exatamente igual a 9 192 631 770 Hz.</i>
<b>corrente elétrica</b>	<b>ampere, A:</b> O ampere <sup>1</sup> é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produziria entre estes condutores uma força igual a $2 \times 10^{-7}$ newton por metro de comprimento. <i>Assim, a constante magnética, <math>\mu_0</math>, também conhecida como permeabilidade do vácuo, é exatamente igual a <math>4\pi \times 10^{-7}</math> H/m.</i>
<b>temperatura termodinâmica</b>	<b>kelvin, K:</b> O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica no ponto tríplice da água. <i>Assim, a temperatura do ponto tríplice da água, <math>T_{pta}</math>, é exatamente igual a 273,16 K.</i>
<b>quantidade de substância</b>	<b>mol, mol:</b> 1. O mol é a quantidade de substância de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 quilograma de carbono 12. 2. Quando se utiliza o mol, as entidades elementares devem ser especificadas, podendo ser átomos, moléculas, íons, elétrons, assim como outras partículas, ou agrupamentos especificados dessas partículas. <i>Assim, a massa molar do carbono 12, <math>M(^{12}\text{C})</math>, é exatamente igual a 12 g/mol.</i>
<b>intensidade luminosa</b>	<b>candela, cd:</b> A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência $540 \times 10^{12}$ hertz e cuja intensidade energética nessa direção é 1/683 watt por esterradiano. <i>Assim, a eficácia luminosa espectral, <math>K</math>, da radiação monocromática de frequência <math>540 \times 10^{12}</math> Hz é exatamente igual a 683 lm/W.</i>

As sete **grandezas de base**, que correspondem às sete **unidades de base**, são: comprimento, massa, tempo, corrente elétrica, temperatura termodinâmica, quantidade de substância e intensidade luminosa. As **grandezas de base** e as **unidades de base** se encontram listadas, juntamente com seus símbolos, na tabela 2.

<sup>1</sup> Nota dos tradutores.

A palavra ampere era grafada antigamente com o acento grave no primeiro e – ampère. Modernamente essa prática foi abandonada conforme explica Antonio Houaiss em seu Dicionário. (HOUAISS, Antônio; VILLAR, Mauro de Salles. *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Objetiva Ltda. 2001, p. 196)

**Tabela 2 - 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 substância	$n$	mol	mol
intensidade luminosa	$I_v$	candela	cd

Todas as outras grandezas são descritas como **grandezas derivadas** e são medidas utilizando **unidades derivadas**, que são definidas como produtos de potências de **unidades de base**. Exemplos de **grandezas derivadas** e de **unidades derivadas** estão listadas na tabela 3.

**Tabela 3 - Exemplos de grandezas derivadas e de suas unidades**

Grandeza derivada	Símbolo	Unidade derivada	Símbolo
área	$A$	metro quadrado	$m^2$
volume	$V$	metro cúbico	$m^3$
velocidade	$v$	metro por segundo	m/s
aceleração	$a$	metro por segundo ao quadrado	$m/s^2$
número de ondas	$\sigma, \tilde{\nu}$	inverso do metro	$m^{-1}$
massa específica	$\rho$	quilograma por metro cúbico	$kg/m^3$
densidade superficial	$\rho_A$	quilograma por metro quadrado	$kg/m^2$
volume específico	$v$	metro cúbico por quilograma	$m^3/kg$
densidade de corrente	$j$	ampere por metro quadrado	$A/m^2$
campo magnético	$H$	ampere por metro	A/m
concentração	$c$	mol por metro cúbico	$mol/m^3$
concentração de massa	$\rho, \gamma$	quilograma por metro cúbico	$kg/m^3$
luminância	$L_v$	candela por metro quadrado	$cd/m^2$
índice de refração	$n$	um	1
permeabilidade relativa	$\mu_r$	um	1

Note que o índice de refração e a permeabilidade relativa são exemplos de grandezas adimensionais, para as quais a unidade do SI é o número um (1), embora esta unidade não seja escrita.

Algumas **unidades derivadas** recebem **nome especial**, sendo este simplesmente uma forma compacta de expressão de combinações de **unidades de base** que são usadas frequentemente.

Então, por exemplo, o joule, símbolo J, é por definição, igual a  $\text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$ . Existem atualmente 22 nomes especiais para unidades aprovados para uso no SI, que estão listados na tabela 4.

**Tabela 4 - Unidades derivadas com nomes especiais no SI**

Grandeza derivada	Nome da unidade derivada	Símbolo da unidade	Expressão em termos de outras unidades
ângulo plano	radiano	rad	$\text{m/m} = 1$
ângulo sólido	esterradiano	sr	$\text{m}^2/\text{m}^2 = 1$
frequência	hertz	Hz	$\text{s}^{-1}$
força	newton	N	$\text{m kg s}^{-2}$
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 de energia	watt	W	$\text{J/s} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$
carga elétrica, quantidade de eletricidade	coulomb	C	$\text{s A}$
diferença de potencial elétrico	volt	V	$\text{W/A} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3} \text{A}^{-1}$
capacitância	farad	F	$\text{C/V} = \text{m}^{-2} \text{kg}^{-1} \text{s}^4 \text{A}^2$
resistência elétrica	ohm	$\Omega$	$\text{V/A} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3} \text{A}^{-2}$
condutância elétrica	siemens	S	$\text{A/V} = \text{m}^{-2} \text{kg}^{-1} \text{s}^3 \text{A}^2$
fluxo de indução magnética	weber	Wb	$\text{V s} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{A}^{-1}$
indução magnética	tesla	T	$\text{Wb/m}^2 = \text{kg s}^{-2} \text{A}^{-1}$
indutância	henry	H	$\text{Wb/A} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{A}^{-2}$
temperatura Celsius	grau Celsius	$^{\circ}\text{C}$	K
fluxo luminoso	lumen	lm	$\text{cd sr} = \text{cd}$
iluminância	lux	lx	$\text{lm/m}^2 = \text{m}^{-2} \text{cd}$
atividade de um radionuclídeo	becquerel	Bq	$\text{s}^{-1}$
dose absorvida, energia específica (comunicada), kerma	gray	Gy	$\text{J/kg} = \text{m}^2 \text{s}^{-2}$
equivalente de dose, equivalente de dose ambiente	sievert	Sv	$\text{J/kg} = \text{m}^2 \text{s}^{-2}$
atividade catalítica	katal	kat	$\text{s}^{-1} \text{mol}$

Embora o hertz e o becquerel sejam iguais ao inverso do segundo, o hertz é usado somente para fenômenos cíclicos, e o becquerel, para processos estocásticos no decaimento radioativo.

A unidade de temperatura Celsius é o grau Celsius,  $^{\circ}\text{C}$ , que é igual em magnitude ao kelvin, K, a unidade de temperatura termodinâmica. A grandeza temperatura Celsius  $t$  é relacionada com a temperatura termodinâmica  $T$  pela equação  $t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$ .

O sievert também é usado para as grandezas: equivalente de dose direcional e equivalente de dose individual.

Os quatro últimos nomes especiais das unidades da tabela 4 foram adotados especificamente para resguardar medições relacionadas à saúde humana.

Para cada grandeza, existe somente uma unidade SI (embora possa ser expressa freqüentemente de diferentes modos, pelo uso de nomes especiais). Contudo, a mesma unidade SI pode ser usada para expressar os valores de diversas grandezas diferentes (por exemplo, a unidade SI para a relação J/K pode ser usada para expressar tanto o valor da capacidade calorífica como da entropia). Portanto, é importante não usar a unidade sozinha para especificar a grandeza. Isto se aplica tanto aos textos científicos como aos instrumentos de medição (isto é, a leitura de saída de um instrumento deve indicar a grandeza medida e a unidade).

As grandezas adimensionais, também chamadas de grandezas de dimensão um, são usualmente definidas como a razão entre duas grandezas de mesma natureza (por exemplo, o índice de refração é a razão entre duas velocidades, e a permeabilidade relativa é a razão entre a permeabilidade de um meio dielétrico e a do vácuo). Então a unidade de uma grandeza adimensional é a razão entre duas unidades idênticas do SI, portanto é sempre igual a um (1). Contudo, ao se expressar os valores de grandezas adimensionais, a unidade um (1) não é escrita.

### Múltiplos e submúltiplos das unidades do SI

Um conjunto de prefixos foi adotado para uso com as unidades do SI, a fim de exprimir os valores de grandezas que são muito maiores ou muito menores do que a unidade SI usada sem um prefixo. Os prefixos SI estão listados na tabela 5. Eles podem ser usados com qualquer **unidade de base** e com as **unidades derivadas** com nomes especiais.

**Tabela 5 - Prefixos SI**

Fator	Nome	Símbolo	Fator	Nome	Símbolo
$10^1$	deca	da	$10^{-1}$	deci	d
$10^2$	hecto	h	$10^{-2}$	centi	c
$10^3$	quilo	k	$10^{-3}$	mili	m
$10^6$	mega	M	$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^9$	giga	G	$10^{-9}$	nano	n
$10^{12}$	tera	T	$10^{-12}$	pico	p
$10^{15}$	peta	P	$10^{-15}$	femto	f
$10^{18}$	exa	E	$10^{-18}$	atto	a
$10^{21}$	zetta	Z	$10^{-21}$	zepto	z
$10^{24}$	yotta	Y	$10^{-24}$	yocto	y

Quando os prefixos são usados, o nome do prefixo e o da unidade são combinados para formar uma palavra única e, similarmente, o símbolo do prefixo e o símbolo da unidade são escritos sem espaços, para formar um símbolo único que pode ser elevado a qualquer potência. Por exemplo, pode-se escrever: quilômetro, km; microvolt,  $\mu\text{V}$ ; femtosegundo, fs;  $50 \text{ V/cm} = 50 \text{ V}(10^{-2} \text{ m})^{-1} = 5000 \text{ V/m}$ .

Quando as **unidades de base** e as **unidades derivadas** são usadas sem qualquer prefixo, o conjunto de unidades resultante é considerado **coerente**. O uso de um conjunto de unidades coerentes tem vantagens técnicas (veja a publicação completa do SI). Contudo, o uso dos prefixos é conveniente porque ele evita a necessidade de empregar fatores de  $10^n$ , para exprimir os valores de grandezas muito grandes ou muito pequenas. Por exemplo, o comprimento de uma ligação química é mais convenientemente expresso em nanômetros, nm, do que em metros, m, e a distância entre Londres e Paris é mais convenientemente expressa em quilômetros, km, do que em metros, m.

O quilograma, kg, é uma exceção, porque embora ele seja uma **unidade de base** o nome já inclui um prefixo, por razões históricas. Os múltiplos e os submúltiplos do quilograma são escritos combinando-se os prefixos com o grama: logo, escreve-se miligrama, mg, e **não** microquilograma,  $\mu\text{kg}$ .

### Unidades fora do SI

O SI é o único sistema de unidades que é reconhecido universalmente, de modo que ele tem uma vantagem distinta quando se estabelece um diálogo internacional. Outras unidades, isto é, unidades

não-SI, são geralmente definidas em termos de unidades SI. O uso do SI também simplifica o ensino da ciência. Por todas essas razões o emprego das unidades SI é recomendado em todos os campos da ciência e da tecnologia.

Embora algumas unidades não-SI sejam ainda amplamente usadas, outras, a exemplo do minuto, da hora e do dia, como unidades de tempo, serão sempre usadas porque elas estão arraigadas profundamente na nossa cultura. Outras são usadas, por razões históricas, para atender às necessidades de grupos com interesses especiais, ou porque não existe alternativa SI conveniente. Os cientistas devem ter a liberdade para utilizar unidades não-SI se eles as considerarem mais adequadas ao seu propósito. Contudo, quando unidades não-SI são utilizadas, o fator de conversão para o SI deve ser sempre incluído. Algumas unidades não-SI estão listadas na tabela 6 abaixo, com o seu fator de conversão para o SI. Para uma listagem mais ampla, veja a publicação completa do SI, ou o *website* do BIPM.

**Tabela 6 – Algumas unidades não-SI**

Grandeza	Unidade	Símbolo	Relação com o SI
tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 3600 s
	dia	d	1 d = 86400 s
volume	litro	L ou l	1 L = 1 dm <sup>3</sup>
massa	tonelada	t	1 t = 1000 kg
energia	elétronvolt	eV	1 eV $\approx$ 1,602 x 10 <sup>-19</sup> J
pressão	bar	bar	1 bar = 100 kPa
	milímetro de mercúrio	mmHg	1 mmHg $\approx$ 133,3 Pa
comprimento	angstrom <sup>2</sup>	Å	1 Å = 10 <sup>-10</sup> m
	milha náutica	M	1 M = 1852 m
força	dina	dyn	1 dyn = 10 <sup>-5</sup> N
energia	erg	erg	1 erg = 10 <sup>-7</sup> J

Os símbolos das unidades começam com letra maiúscula quando se trata de nome próprio (por exemplo, ampere, A; kelvin, K; hertz, Hz; coulomb, C). Nos outros casos eles sempre começam com letra minúscula (por exemplo, metro, m; segundo, s; mol, mol). O símbolo do litro é uma exceção: pode-se usar uma letra minúscula ou uma letra maiúscula, L. Neste caso a letra maiúscula é usada para evitar confusão entre a letra minúscula l e o número um (1). O símbolo da milha náutica é apresentado aqui como M; contudo não há um acordo geral sobre nenhum símbolo para a milha náutica.

### **A linguagem da ciência: utilização do SI para exprimir os valores das grandezas**

O valor de uma grandeza é escrito como o produto de um número e uma unidade, e o número que multiplica a unidade é o valor numérico da grandeza, naquela unidade. Deixa-se sempre um espaço entre o número e a unidade. Nas grandezas adimensionais para as quais a unidade é o número um (1), a unidade 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 expresso em diferentes unidades, conforme o seguinte exemplo:

<sup>2</sup> O *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa* admite essa palavra grafada sem o símbolo sobre o “a” e sem o trema sobre o “o”.

A velocidade de uma bicicleta é aproximadamente

$$v = 5,0 \text{ m/s} = 18 \text{ km/h.}$$

O comprimento de onda de uma das raias amarelas do sódio é

$$\lambda = 5,896 \times 10^{-7} \text{ m} = 589,6 \text{ nm.}$$

Os símbolos das grandezas são impressos com letras em itálico (inclinadas) e geralmente são letras únicas do alfabeto latino ou do grego. Tanto letras maiúsculas como letras minúsculas podem ser usadas. Informação adicional sobre a grandeza pode ser acrescentada sob a forma de um subscrito, ou como informação entre parênteses.

Existem símbolos recomendados para muitas grandezas, dados por autoridades como a ISO (International Organization for Standardization) e as várias organizações científicas internacionais, tais como a IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics) e a IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). São exemplos:

$T$  para temperatura

$C_p$  para capacidade calorífica a pressão constante

$x_i$  para fração molar da espécie  $i$

$\mu_r$  para permeabilidade relativa

$m(K)$  para a massa do protótipo internacional do quilograma,  $K$ .

Os símbolos das unidades são impressos em tipo romano (vertical), independentemente do tipo usado no restante do texto. Eles são entidades matemáticas e não abreviaturas. Eles nunca são seguidos por um ponto (exceto no final de uma sentença) nem por um s para formar o plural. É obrigatório o uso da forma correta para os símbolos das unidades, conforme ilustrado pelos exemplos apresentados na publicação completa do SI. Algumas vezes os símbolos das unidades podem ter mais de uma letra. Eles são escritos em letras minúsculas, exceto que a primeira letra é maiúscula quando o nome é de uma pessoa. Contudo, quando o nome de uma unidade é escrito por extenso, deve começar com letra minúscula (exceto no início de uma sentença), para distinguir o nome da unidade do nome da pessoa.

Ao se escrever o valor de uma grandeza, como o produto de um valor numérico e uma unidade, ambos, o número e a unidade devem ser tratados pelas regras ordinárias da álgebra. Por exemplo, a equação  $T = 293 \text{ K}$  pode ser escrita igualmente  $T/\text{K} = 293$ . Este procedimento é descrito como o uso do cálculo de grandezas, ou a álgebra de grandezas. Às vezes essa notação é útil para identificar o cabeçalho de colunas de tabelas, ou a denominação dos eixos de gráficos, de modo que as entradas na tabela ou a identificação dos pontos sobre os eixos são simples números. O exemplo a seguir mostra uma tabela de pressão de vapor em função da temperatura, e o logaritmo da pressão de vapor em função do inverso da temperatura, com as colunas identificadas desse modo.

$T/\text{K}$	$10^3 \text{ K}/T$	$p/\text{MPa}$	$\ln(p/\text{Mpa})$
216,55	4,6179	0,5180	-0,6578
273,15	3,6610	3,4853	1,2486
304,19	3,2874	7,3815	1,9990

Algebricamente, fórmulas equivalentes podem ser usadas no lugar de  $10^3 \text{ K}/T$ , tais como:  $\text{kK}/T$ , ou  $10^3 (T/\text{K})^{-1}$ .

Na formação de produtos ou quocientes de unidades, aplicam-se as regras normais da álgebra. Na formação de produtos de unidades, deve-se deixar um espaço entre as unidades (alternativamente pode-se colocar um ponto na meia altura da linha, como símbolo de multiplicação). Note a

importância do espaço, por exemplo, m s denota o produto de um metro por um segundo, ao passo que ms significa milissegundo. Também na formação de produtos complicados, com unidades, deve-se usar parênteses ou expoentes negativos para evitar ambigüidades. Por exemplo, R, a constante molar dos gases, é dada por:

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

Na formação de números o marcador decimal pode ser ou um ponto ou uma vírgula, de acordo com as circunstâncias apropriadas. Para documentos na língua inglesa é usual o ponto, mas para muitas línguas da Europa continental e em outros países, a vírgula é de uso mais comum.<sup>3</sup>

Quando um número tem muitos dígitos, é usual agrupar-se os algarismos em blocos de três, antes e depois da vírgula, para facilitar a leitura. Isto não é essencial, mas é feito freqüentemente, e geralmente é muito útil. Quando isto é feito, os grupos de três dígitos devem ser separados por apenas um espaço estreito; não se deve usar nem um ponto e nem uma vírgula entre eles. A incerteza do valor numérico de uma grandeza pode ser convenientemente expressa, explicitando-se a incerteza dos últimos dígitos significativos, entre parênteses, depois do número.

Exemplo: O valor da carga elementar do elétron é dado na listagem CODATA (The Committee on Data for Science and Technology) de 2002, das constantes fundamentais, por:

$$e = 1,602\ 176\ 53\ (14) \times 10^{-19} \text{ C},$$

onde 14 é a incerteza padrão dos dígitos finais do valor numérico indicado.



**Para informações adicionais ver o website do BIPM <http://www.bipm.org> ou a **Publicação completa do SI, 8ª edição**, que está disponível no site <http://www.bipm.org/en/si>.**

Este sumário foi preparado pelo Comitê Consultivo das Unidades (CCU) do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), e é publicado pelo BIPM.

Março de 2006  
Ernst Göbel, Presidente do CIPM  
Ian Mills, Presidente do CCU  
Andrew Wallard, Diretor do BIPM

*Todos os trabalhos do BIPM são protegidos internacionalmente por copyright. Este documento em português (Brasil) foi preparado mediante permissão obtida do BIPM. A única versão oficial deste resumo é o texto em francês, do documento original criado pelo BIPM.*

Tradução para o português (Brasil) feita pelos Assessores Especiais da Presidência do Inmetro, Físico José Joaquim Vinge, Engenheiro Aldo Cordeiro Dutra e Físico Giorgio Moscati. Este documento está disponível no site do Inmetro: <http://www.inmetro.gov.br>.

---

<sup>3</sup> Nota dos tradutores. Por exemplo, no Brasil usa-se a vírgula.