

Cadernos Técnicos Carlos Sousa

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)



2008

 **CATIN** centro de apoio tecnológico à indústria metalomecânica

Índice

| Capítulo | Título | Página |
|----------|------------------------------------------------|--------|
| 1 | Generalidades | 3 |
| 2 | A evolução do SI | 3 |
| 3 | O Decreto-Lei 238/94 | 4 |
| 4 | Unidades de Base do SI | 5 |
| 5 | Símbolo especial de temperatura (grau Celsius) | 7 |
| 6 | Unidades SI Derivadas | 9 |
| 6.1 | Unidades de ângulo (derivadas) | 10 |
| 7 | Prefixos e Símbolos | 11 |
| 7.1 | Múltiplos e Submúltiplos Decimais | 11 |
| 7.2 | Múltiplos decimais com nomes especiais | 12 |
| 8 | Unidades (não múltiplos ou submúltiplos SI) | 12 |
| 9 | Unidades Definidas de Modo Independente do SI | 13 |
| 10 | Unidades Admitidas em Domínios Especializados | 13 |
| 11 | Regras de Escrita | 14 |
| | Bibliografia | 16 |

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

1 - Generalidades

A existência de um único sistema de unidades que internacionalmente permita um diálogo técnico uniforme onde se fale de dimensões sem recurso a conversões mais ou menos complexas, continua a ser um objectivo ainda não alcançado.

No entanto, muito já foi feito e em muitos países foi já adoptado o mais importante sistema de unidades, aquele que prima pela sua coerência e que rege já a maior parte de negócios e actividades técnicas de todo o mundo. Falamos do Sistema Internacional de Unidades (SI), assim designado pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM).

2 - A evolução do SI

Mas façamos uma breve revisão histórica das unidades adoptadas em Portugal.

Em 1575, no reinado de D. Sebastião, tinha sido aprovada a Lei de Almeirim, conhecida pela *Lei do Igualeamento das medidas dos sólidos e dos líquidos*.

Esta lei é um marco notável na metrologia, mais pelos princípios que hoje se consideram básicos, do que pela definição de unidades propriamente dita. Esses princípios - equivalência, cadeia metrológica e rastreabilidade - foram estabelecidos nas seguintes resoluções:

- estabelecimento de equivalências
- criação de redes de padrões
- determinação da comparação periódica dos padrões

Posteriormente veio a ser adoptado em Portugal o sistema métrico, o qual havia sido criado em França no século XVIII.

Em 1814, as unidades adoptadas na Lei de Almeirim foram, adaptadas ao sistema métrico.

Em 1852 Portugal adoptou, através de um decreto, o sistema métrico. Em 1876 Portugal encontrava-se entre os 17 países que assinaram a Convenção do Metro, tendo no ano seguinte legislado para ratificação daquele sistema.

Após a implantação da República, em 1911, é definido o quadro das medidas legais - a Portugal foram atribuídas as cópias nº 10 dos padrões protótipos aprovados na 1ª Conferência Geral de Pesos e Medidas de 1889.

Em 1926 novamente através de Lei é aprovada a Convenção do Metro que havia sido modificada em 1921 na 6ª Conferência Geral de Pesos e Medidas.

O sistema evoluiu para aquilo que viria a ser chamado Sistema Internacional de Unidades, estabelecido na 11ª CGPM (1960), tendo havido várias alterações posteriores, às quais não fez corresponder legislação interna, embora tenha sido sempre membro da CGPM.

Da 19ª CGPM (1991) e após várias directivas do Conselho, houve que adaptar a legislação existente, revogando-a, surgindo então a publicação do mais recente diploma, o decreto-lei nº 238/94.

3 - O Decreto-Lei 238/94 [1]

O diploma tem 8 artigos que definem regras disciplinadoras da utilização do SI. Este decreto-lei tem um anexo do qual constam:

- Nomes, símbolos e definições das **unidades de base, suplementares¹ e derivadas**
- Os prefixos e símbolos dos múltiplos e submúltiplos das unidades
- recomendações para a escrita e utilização dos símbolos.

No articulado do decreto realçam-se os seguintes pontos:

1. Considera-se «indicação suplementar» aquela que é expressa numa unidade que não do SI, mas que acompanha uma indicação expressa em unidades SI.

A indicação numa unidade de medida do SI deve prevalecer sobre indicações expressas noutras unidades, nomeadamente apresentando-se em caracteres de dimensões superiores. Exemplo: $F=105\text{ N}$ (10,7 kgf)

A utilização das indicações suplementares é autorizada até 31 de Dezembro de 2009. (Esta data foi alterada. Inicialmente era 1999, mas o Decreto-Lei 254/2002 [3] alterou a redacção com esta nova data).

¹ A 20ª CGPM, de Outubro de 1995, na sua 8ª Resolução, decidiu eliminar a classe de unidades suplementares, passando estas a ser consideradas unidades derivadas

2. É autorizada a utilização das unidades de medida não legais (actualmente) para:

a) os produtos ou equipamentos comprados ou com entrada em serviço anterior à publicação do Decreto nº 238/94 [1].

b) As peças que substituam ou completem equipamentos da alínea a).

Esta autorização **não se aplica aos dispositivos indicadores dos instrumentos de medição, nos quais é obrigatória a utilização de unidades de medida legais.**

3. Os domínios abrangidos pelo Decreto 238/94 levam a que as obrigações decorrentes do articulado se referem às medições efectuadas e às grandezas expressas em unidades de medida, no circuito económico, nos domínios da saúde e da segurança pública e nas operações de natureza administrativa.

4. É permitido o uso de unidades diversas das do SI *no domínio da navegação marítima e aérea e do tráfego por via férrea*, por força de acordos internacionais.

5. A aprovação dos **padrões** de medida que realizam as unidades legais compete ao IPQ.

6. A fiscalização do cumprimento do Decreto 238/94 é da competência das Direcções Regionais da Economia.

7. Resta referir que o decreto-lei nº 238/94 considera que a utilização de unidades de medida não autorizada legalmente, é considerada contra-ordenação, a qual é punível com coimas que podem ir até 6 000 contos!

4 - Unidades de Base do SI:

| Grandeza | Unidade | |
|-----------------------------------|------------|---------|
| | Nome | Símbolo |
| Comprimento | metro | m |
| Massa | quilograma | kg |
| Tempo | segundo | s |
| Intensidade de corrente eléctrica | ampere | A |
| Temperatura termodinâmica | kelvin | K |
| Quantidade de matéria | mole | mol |
| Intensidade luminosa | candela | cd |

Definições das Unidade SI de Base:

Unidade de comprimento (**metro**):

O metro é o comprimento do trajecto percorrido no vazio pela luz durante 1/299 792 458 s.

(17^a CGPM - 1983 - Resolução n^o 1)

Unidade de massa (**quilograma**):

O quilograma é a unidade de massa; é igual à massa do protótipo internacional do quilograma.

(3.^a CGPM - 1901 - p. 70 das actas.)

Unidade de tempo (**segundo**):

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.

(13.^a CGPM - 1967 - Resolução n.º 1)

Unidade de intensidade de corrente eléctrica (**ampere**):

O ampere é a intensidade de uma corrente constante que, mantida em dois condutores paralelos, rectilíneos, de comprimento infinito, de secção circular desprezável, e colocados à distância de 1 m um do outro no vazio, produziria entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} N por metro de comprimento.

(9^a CGPM – 1948 - Resolução n^o 2)

Unidade de temperatura termodinâmica (**kelvin**):

O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fracção $1/273,16$ da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água.

(13ª CGPM - 1967 - Resolução nº 4)

Unidade de quantidade de matéria (**mole**):

A mole é a quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos os átomos que existem em 0,012 kg de carbono 12.

Quando se utiliza a mole, as entidades elementares devem ser especificadas e podem ser átomos, moléculas, iões, electrões, outras partículas ou agrupamentos especificados de tais partículas.

(14ª CGPM - 1971 - Resolução nº 3)

Unidade de intensidade luminosa (**candela**):

A candela é a intensidade luminosa, numa direcção dada, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência de 540×10^{12} Hz e cuja intensidade energética nessa direcção é de $1/683$ W por esterradiano.

(16ª CGPM - 1979 - Resolução nº 3)

5 - Símbolo especial de temperatura (**grau Celsius**)

| Grandeza | Unidade | |
|---------------------|--------------|---------|
| | Nome | Símbolo |
| Temperatura Celsius | grau Celsius | °C |

A temperatura Celsius t é definida pela diferença $t = T - T_0$ entre duas temperaturas termodinâmicas T e T_0 com $T_0 = 273,15$ K. Um intervalo ou uma diferença de

temperatura podem exprimir-se quer em kelvins quer em graus Celsius. A unidade de grau Celsius é igual à unidade kelvin.

Se $t_1 = 10^\circ \text{C}$ (283,15 K) e $t_2 = 11^\circ \text{C}$ (284,15 K)

então $t_2 - t_1 = (11 - 10)^\circ \text{C} = 1^\circ \text{C}$

e $T_2 - T_1 = (284,15 - 283,15) \text{K} = 1 \text{K}$

Logo, o valor numérico da diferença entre a temperatura 2 e a temperatura 1 é 1°C e 1 K.

Dizer "grau centígrado" é errado, pois tal termo não existe actualmente no vocabulário relacionado com temperaturas (o termo "celsius" foi adoptado em 1948). Centigrado (sem acento no "i") é a centésima parte do grado, que é uma unidade de ângulo!



6 - Unidades SI Derivadas

As unidades derivadas de modo coerente das unidades do SI são dadas por expressões algébricas sob a forma de produtos de potências de unidades SI com o factor numérico 1

Unidades SI Derivadas (com nomes e Símbolos Especiais)

| Grandeza | Unidade | | Expressão | |
|-------------------------------------------------------------------|--------------|----------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| | Nome | Símbolo | Em outras unidades SI | Em unidades SI de base ou suplementares |
| Ângulo plano | radiano | rad | | $\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$ |
| Ângulo sólido | esterradiano | sr | | $\text{m}^2\cdot\text{m}^{-2}$ |
| Frequência | hertz | Hz | - | s^{-1} |
| Força | newton | N | - | $\text{m}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$ |
| Pressão e tensão | pascal | Pa | $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$ | $\text{m}^{-1}\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$ |
| Energia, trabalho, quantidade de calor | joule | J | $\text{N}\cdot\text{m}$ | $\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$ |
| Potência, fluxo magnético | watt | W | $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$ | $\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}$ |
| Quantidade de electricidade, carga eléctrica | coulomb | C | - | $\text{s}\cdot\text{A}$ |
| Tensão eléctrica, potencial eléctrico, força electromotriz | volt | V | $\text{W}\cdot\text{A}^{-1}$ | $\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1}$ |
| Resistência eléctrica | ohm | Ω | $\text{V}\cdot\text{A}^{-1}$ | $\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-2}$ |
| Condutância eléctrica | siemens | S | $\text{A}\cdot\text{V}^{-1}$ | $\text{m}^{-2}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^3\cdot\text{A}^2$ |
| Capacidade eléctrica | farad | F | $\text{C}\cdot\text{V}^{-1}$ | $\text{m}^{-2}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^4\cdot\text{A}^2$ |
| Fluxo de indução magnético | weber | Wb | $\text{V}\cdot\text{s}$ | $\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-1}$ |
| Indução Magnética | tesla | T | $\text{Wb}\cdot\text{m}^{-2}$ | $\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-1}$ |
| Indutância | henry | H | $\text{Wb}\cdot\text{A}^{-1}$ | $\text{m}^2\cdot\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-2}$ |
| Fluxo luminoso | lúmen | lm | - | $\text{cd}\cdot\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$ |
| Iluminação | lux | lx | $\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$ | $\text{m}^{-2}\cdot\text{cd}\cdot\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$ |
| Actividades (raios ionizantes) | becquerel | Bq | - | s^{-1} |
| Dose absorvida | gray | Gy | $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ | $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$ |
| Equivalente de dose | sievert | Sv | $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ | $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$ |

6.1 - Unidades de ângulo (derivadas)

As unidades de ângulo - **radiano** e **esterradiano** - foram consideradas até 1995 como sendo unidades **suplementares**.

Mas, tal como atrás já foi referido, a 20ª CGPM, de Outubro de 1995, na sua 8ª Resolução, decidiu eliminar a classe de unidades suplementares, passando estas a ser consideradas unidades derivadas.

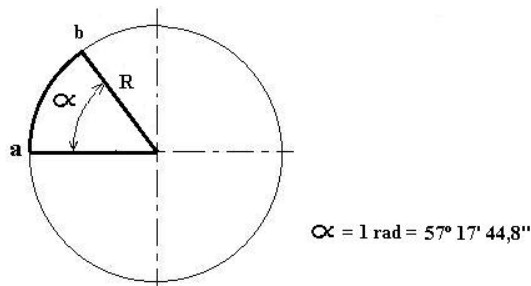
Dada a sua importância, faz-se novamente chamada destas unidades, fazendo transcrição das respectivas definições:

Unidade de ângulo plano (**radiano**) - símbolo **rad**

O **radiano** é o ângulo compreendido entre dois raios de um círculo que intersectam, na circunferência, um arco de comprimento igual ao do raio.

(11 CGPM - 1960 - Resolução nº 12)

Nota: esta redacção corresponde à que foi estabelecida no Decreto-Lei 254/2002



Unidade de ângulo sólido (**esterradiano**) - símbolo **sr**

O **esterradiano** é o ângulo sólido de um cone que, tendo o vértice no centro de uma esfera, intersecta na superfície dessa esfera uma área igual à de um quadrado cujo lado tem um comprimento igual ao do raio da esfera.

(11 CGPM - 1960 - Resolução nº 12)

Nota: esta redacção corresponde à que foi estabelecida no Decreto-Lei 254/2002

7 - Prefixos e Símbolos

7.1 - Múltiplos e Submúltiplos Decimais

| Factor | Prefixo | Símbolo | Factor | Prefixo | Símbolo |
|-----------|---------|---------|------------|---------|---------|
| 10^{24} | iota | Y | 10^{-1} | deci | d |
| 10^{21} | zeta | Z | 10^{-2} | centi | c |
| 10^{18} | exa | E | 10^{-3} | mili | m |
| 10^{15} | peta | P | 10^{-6} | micro | μ |
| 10^{12} | tera | T | 10^{-9} | nano | n |
| 10^9 | giga | G | 10^{-12} | pico | p |
| 10^6 | mega | M | 10^{-15} | fento | f |
| 10^3 | quilo | k | 10^{-18} | ato | a |
| 10^2 | hecto | h | 10^{-21} | zepto | z |
| 10^1 | deca | da | 10^{-24} | iocto | y |

Nota: este quadro foi alterado pelo Decreto-Lei 254/2002 [3] (“iota” era “yotta”, “zeta” era “zetta” e “iocto” era “yocto”)

De notar que todos os múltiplos ou submúltiplos são indicados justapondo o respectivo prefixo à unidade de base ou derivada, excepto a unidade de massa que se formam pela junção dos prefixos à palavra “grama” (kg, hg, mg).

7.2 - Múltiplos decimais com nomes especiais

Alguns múltiplos decimais com nomes especiais são autorizados, conforme indicado na tabela seguinte:

| Grandeza | Unidade | | |
|------------------|----------|---------|------------------------------------------------------|
| | Nome | Símbolo | Valor |
| Volume | litro | l, L | $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$ |
| Massa | tonelada | t | $1 \text{ t} = 1 \text{ Mg} = 10^3 \text{ kg}$ |
| Pressão e tensão | bar | bar | $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ |

Com as unidades desta tabela podem utilizar-se os prefixos decimais de 7.1

8 - Unidades (não múltiplos ou submúltiplos SI)

Existem unidades adoptadas legalmente que são relacionadas com unidades do SI, mas que não são múltiplos ou submúltiplos decimais. Na tabela seguinte são indicadas essas unidades.

| Grandeza | Unidade | | |
|--------------|-------------------|---------|--------------------------------------------------|
| | Nome | Símbolo | Valor |
| Ângulo plano | grau | ° | $1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$ |
| | minuto de ângulo | ' | $1' = (1/60)^\circ = (\pi/10\,080) \text{ rad}$ |
| | segundo de ângulo | " | $1'' = (1/60)' = (\pi/648\,000) \text{ rad}$ |
| Tempo | minuto | min | $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ |
| | hora | h | $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$ |
| | dia | d | $1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86\,400 \text{ s}$ |

9 - Unidades Definidas de Modo Independente do SI

(Estas unidades são utilizadas com o SI – valores obtidos experimentalmente)

| Grandeza | Unidade | | |
|----------|--------------------------|---------|--------------------------------------------------------------------|
| | Nome | Símbolo | Valor |
| Massa | unidade de massa atómica | u | $1 \text{ u} \approx 1,660\,540\,2(10) \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ |
| Energia | electrão-volt | eV | $1 \text{ eV} \approx 1,602\,177\,33(49) \cdot 10^{-19} \text{ J}$ |

O valor destas unidades é obtido experimentalmente

10 - Unidades Admitidas em Domínios Especializados

| Grandeza | Unidade | | |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------|---------|----------------------------------------------------------|
| | Nome | Símbolo | Valor |
| Vergência (sistemas ópticos) | dioptria | - | $1 \text{ dioptria} = 1 \text{ m}^{-1}$ |
| Massa de pedras preciosas | carat métrico | - | $1 \text{ carat métrico} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$ |
| Área ou superfície (terrenos agrícolas e para construção) | are | a | $1 \text{ a} = 10^2 \text{ m}^2$ |
| Massa linear das fibras têxteis e dos fios | tex | tex | $1 \text{ tex} = 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| Pressão sanguínea e pressão de outros fluídos corporais | milímetro de mercúrio | mm Hg | $1 \text{ mm Hg} = 132,322 \text{ Pa}$ |
| Secção eficaz | barn | b | $1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$ |

As unidades e símbolos do quadro acima podem ser usadas com os prefixos de múltiplos e submúltiplos, exceptuando o mm Hg.

O múltiplo 10^2 a é denominado **ha** (hectare).

11 - Regras de Escrita

1. Os **símbolos** das unidades são impressos em caracteres romanos direitos, em geral escritos com letras minúsculas. Se o nome da unidade resulta de um nome próprio, a primeira letra do símbolo é maiúscula;

| | Correcto | Incorrecto |
|------------|----------|------------|
| quilograma | kg | <i>kg</i> |
| kelvin | K | k |
| pascal | Pa | pa |

2. Os **símbolos** das unidades são invariáveis no plural;

| | Correcto | Incorrecto |
|---------------|----------|------------|
| 5 quilogramas | 5 kg | 5 kgs |
| 10 metros | 10 m | 10 mts |
| 27 Litros | 27 L | 27 Lts |

Deve fazer-se notar que os nomes das unidades são utilizados no plural quando o valor numérico é igual ou superior a 2.

Exemplos:

1,5 quilograma; 2 quilogramas; 0,3 metro; 50 quilómetros

3. Os **símbolos** das unidades não são seguidos por um ponto;

| Correcto | Incorrecto |
|-------------------|--------------------|
| 5 kg de aço | 5 kg. de aço |
| 10 m de distância | 10 m. de distância |
| 27 L de vinho | 27 L. de vinho |

De notar que o ponto pode surgir quando se referir a pontuação relativa a limite de período ou parágrafo. Exemplo: "Esta frase lê-se em 3 s. Pausadamente, pode demorar 6 s, ou ainda mais."

4. O produto de duas ou mais unidades pode ser indicado ligadas por um ponto ou com um intervalo ente os respectivos símbolos:

N·m ou N m

5. Quando uma unidade derivada é formada dividindo uma unidade por outra, pode utilizar-se uma barra oblíqua"/", uma barra horizontal "—", ou expoentes negativos:

m/s

$$\frac{m}{s}$$

m·s⁻¹

6. Não deve ser utilizada na mesma linha mais do que uma barra oblíqua, a menos que se utilizem parênteses. Exemplos:

| Correcto | | Incorrecto |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| m/s ² | m·s ⁻² | m/s/s |
| m ² ·kg/(s ³ ·A) | m ² ·kg·s ⁻³ ·A ⁻¹ | m ² ·kg/s ³ /A |

7. Os símbolos dos prefixos são impressos em caracteres romanos direitos. Não deve deixar-se espaço entre o símbolo do prefixo e o símbolo da unidade.

Exemplo: 1 ms (milissegundo) e não m s

8. O conjunto de um prefixo e um símbolo de unidade constituem um novo símbolo que pode ser elevado a uma potência e que pode ser combinado com outros símbolos para formar símbolos de unidades compostas.

| | | |
|--------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 1 cm ³ | (10 ⁻² m) ³ | 10 ⁻⁶ m ³ |
| 1 cm ⁻¹ | (10 ⁻² m) ⁻¹ | 10 ² m ⁻¹ |

9. Não são empregues prefixos compostos pela justaposição de vários prefixos.

Exemplo:

1 nm e não 1mμm

10. Um prefixo não pode ser empregue sem uma unidade a que se refira:

10⁶ /m³ e não M/m³

BIBLIOGRAFIA

[1] – Decreto-Lei nº 238/94, de 19 de Setembro – Sistema de Unidades de Medida Legais para todo o território português

[2] – Declaração de rectificação nº 2/95, de 31 de Janeiro – Rectificação de inexactidões do Decreto-Lei nº 238/94

[3] – Decreto-Lei n.o 254/2002, de 22 de Novembro – Alterações ao Decreto-Lei nº 238/94

[4] – Declaração de Rectificação n.o 1-G/2003, de 31 de Janeiro – Rectificação de inexactidões do Decreto-Lei nº 254/2002

[5] – Almeida, Guilherme de – Sistema Internacional de Unidades (SI) – Grandezas e Unidades Físicas, terminologia, símbolos e recomendações – Plátano, Edições Técnicas – 3ª Edição, Abril de 2002

[6] – Le Système international d'unités – 8e édition 2006 - Édité par le BIPM, Pavillon de Breteuil, F-92312 Sèvres Cedex, France.

Imprimé par : STEDI Media, Paris ISBN 92-822-2213-6

http://www.bipm.org/utils/common/pdf/si_brochure_8.pdf