

## ANEXO I

### O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

#### ***1.1 Necessidade de Um Sistema Internacional***

Essencial para a realização de uma medição é a existência da unidade, estabelecida por um padrão, segundo uma convenção própria, regional, nacional ou internacional.

No transcorrer do tempo, diversos foram os sistemas de unidades estabelecidas nas diferentes regiões do mundo. Em função do intercâmbio internacional de produtos e informações, bem como da própria incoerência entre unidades anteriormente adotadas, estabeleceu-se em 1960, através do "Bureau Internacional de Pesos e Medidas - BIPM" um conjunto coerente de unidades, o SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), que consta das unidades de: base, derivadas e suplementares.

O BIPM tem por missão assegurar a unificação mundial das medidas físicas; ele é encarregado:

- de estabelecer os padrões fundamentais e as escalas das principais grandezas físicas, e de conservar os protótipos internacionais;
- de efetuar a comparação dos padrões nacionais e internacionais;
- de assegurar a coordenação das técnicas de medidas correspondentes;
- de efetuar e de coordenar as determinações relativas às constantes físicas que intervêm naquelas atividades.

A adoção das unidades do SI é no Brasil uma obrigatoriedade legal e traz uma série de pontos positivos:

- a) facilidade de entendimento das informações a nível internacional (vantagem comercial e científica);
- b) demonstração de maturidade técnico-científica através do abandono de sistemas superados.
- c) a simplificação das equações que descrevem os fenômenos físicos, pelo fato de existir consistência entre as unidades das grandezas envolvidas;

#### ***1.2 As Três Classes de Unidades do SI***

No Sistema Internacional distinguem-se três classes de unidades:

- unidades de base;
- unidades derivadas;
- unidades suplementares.

##### ***1.2.1 Unidades de Base***

No SI apenas sete grandezas físicas independentes são definidas, as chamadas *unidades de base*. Todas as demais unidades são derivadas destas sete. As definições destas grandezas são apresentadas na figura I.1. Embora o valor de cada grandeza seja sempre fixo não é raro que a forma de definir uma grandeza sofra alteração. Quando ocorrem, estas alterações são motivadas por algum avanço tecnológico que cria melhores condições de reprodução do valor unitário desta grandeza, isto é, praticidade e menores erros.

## 1.2.2 Unidades Derivadas

*Unidades derivadas* são as unidades que são formadas pela combinação das unidades de base segundo relações algébricas que correlacionam as correspondentes grandezas. Constituem a grande maioria das grandezas em uso. A figura 1.2 exemplifica algumas destas grandezas. Por serem muito empregadas, algumas grandezas recebem denominação específica, como exemplo o newton, pascal, watt, hertz, etc (a grafia com iniciais em letras minúsculas é intencional e é para diferenciar dos respectivos nomes próprios Newton, Pascal, Watt, Hertz, etc).

## 1.2.3 Unidades Suplementares

No SI são também definidas as *unidades suplementares*. São unidades cuja definição é puramente matemática, sem que um padrão ou elemento físico seja necessário. Trata-se basicamente das unidades de ângulo plano e ângulo sólido, como mostra a figura 1.3. O ângulo plano é a relação entre dois comprimentos e o Ângulo sólido é a relação entre uma área e o quadrado de um comprimento. São unidades sem dimensão. Nota-se que estas unidades também podem ser combinadas com as unidades base para formar novas unidades derivadas.

| GRANDEZAS                                | UNIDADE SI                                          |                                    |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|
|                                          | NOME                                                | GRANDEZA                           |
| ângulo plano<br>ângulo sólido            | radiano<br>esteradiano                              | rad<br>sr                          |
| velocidade angular<br>aceleração angular | radiano por segundo<br>radiano por segundo quadrado | rad/s<br>rad/s <sup>2</sup>        |
| intensidade energética                   | watt por esteradiano                                | W/sr                               |
| luminância energética                    | watt por metro quadrado esteradiano                 | W.m <sup>-2</sup> .r <sup>-1</sup> |

Figura 1.3 - Unidades SI suplementares e suas derivadas

*observação:*

*É importante salientar que cada grandeza física tem uma só unidade SI, mesmo que esta unidade possa ser expressa sob diferentes formas, porém o inverso não é verdadeiro: a mesma unidade SI pode corresponder a várias grandezas diferentes.*

| GRANDEZA FUNDAMENTAL             | UNIDADE DEFINIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | UNIDADE SÍMBOLO | ERRO ATUAL DE REPRODUÇÃO          |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| comprimento                      | O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante o intervalo de tempo de 1/299792458 do segundo.                                                                                                                                                                                                               | m               | $10^{-11}$                        |
| massa                            | O quilograma é a unidade de massa: ele é igual à massa do protótipo internacional do quilograma.                                                                                                                                                                                                                                       | kg              | $10^{-9}$                         |
| tempo                            | O segundo é a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do césio 133.                                                                                                                                                                                | s               | $3 \cdot 10^{-14}$                |
| intensidade de corrente elétrica | O ampère é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida entre dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situada à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produz entre estes condutores uma força igual a $2 \times 10^{-7}$ newton por metro de comprimento. | A               | $3 \cdot 10^{-7}$                 |
| temperatura termodinâmica        | O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto triplice da água.                                                                                                                                                                                                            | K               | $1K \rightarrow 3 \times 10^{-3}$ |
| intensidade luminosa             | A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência $540 \times 10^{12}$ e cuja intensidade energética nessa direção é 1/683 watt por esterradiano.                                                                                                                  | cd              | $10^{-4}$                         |
| quantidade de matéria            | O mol é a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quanto átomos existem em 0,012 quilogramas de carbono 12.                                                                                                                                                                                          | mol             | $6 \cdot 10^{-7}$                 |

Figura I.1 - Unidades de Base do Sistema Internacional MCG 042

| GRANDEZAS                              | UNIDADE SI                    |             |                                 |
|----------------------------------------|-------------------------------|-------------|---------------------------------|
|                                        | NOME                          | SÍMBOLO     | EXPRESSÃO EM UNIDADE DE BASE    |
| superfície                             | metro quadrado                | $m^2$       | $m^2$                           |
| volume                                 | metro cúbico                  | $m^3$       | $m^3$                           |
| velocidade                             | metro por segundo             | $m/s$       | $m/s$                           |
| aceleração                             | metro por segundo ao quadrado | $m/s^2$     | $m/s^2$                         |
| número de ondas                        | 1 por metro                   | $m^{-1}$    | $m^{-1}$                        |
| massa específica                       | quilograma por metro cúbico   | $kg/m^3$    | $kg/m^3$                        |
| concentração quant. matéria            | mol por metro cúbico          | $mol/m^3$   | $mol/m^3$                       |
| volume específico                      | metro cúbico por quilograma   | $m^3/kg$    | $m^3/kg$                        |
| luminância                             | candela por metro quadrado    | $cd/m^2$    | $cd/m^2$                        |
| frequência                             | hertz                         | $Hz$        | $s^{-1}$                        |
| força                                  | newton                        | $N$         | $m.kg.s^{-2}$                   |
| pressão                                | pascal                        | $Pa$        | $m^{-1}.kg.s^{-2}$              |
| energia, trabalho, quantidade de calor | joule                         | $J$         | $m^2.kg.s^{-2}$                 |
| potência, fluxo energético             | watt                          | $W$         | $m^2.kg.s^{-3}$                 |
| carga elétrica                         | coulomb                       | $C$         | $s.A$                           |
| tensão elétrica                        | volt                          | $V$         | $m^2.kg.s^{-3}.A^{-1}$          |
| capacitância elétrica                  | farad                         | $F$         | $m^{-2}.kg^{-1}.s^4.A^2$        |
| resistência elétrica                   | ohm                           | $\Omega$    | $m^2.kg.s^3.A^{-2}$             |
| condutância                            | siemens                       | $S$         | $m^{-2}.kg^{-1}.s^3.A^2$        |
| fluxo de indução magnética             | weber                         | $Wb$        | $m^2.kg.s^{-2}.A^{-1}$          |
| indução magnética                      | tesla                         | $T$         | $kg.s^{-2}.A^{-1}$              |
| indutância                             | henry                         | $H$         | $m^2.kg.s^{-2}.A^{-2}$          |
| fluxo luminoso                         | lumen                         | $lm$        | $cd.sr$                         |
| iluminamento ou aclaramento            | lux                           | $lx$        | $m^{-2}.cd.sr$                  |
| viscosidade dinâmica                   | pascal segundo                | $Pa.s$      | $m^{-1}.kg.s^{-1}$              |
| momento de uma força, torque           | newton metro                  | $N.m$       | $m^2.kg.s^{-2}$                 |
| tensão superficial                     | newton por metro              | $N/m$       | $kg.s^{-2}$                     |
| densidade de fluxo térmico             | watt por metro quadrado       | $W/m^2$     | $kg.s^{-3}$                     |
| capacidade térmica, entropia           | joule por kelvin              | $J/K$       | $m^2.kg.s^{-2}.K^{-1}$          |
| calor espec., entropia espec.          | joule por quilograma kelvin   | $J/(kg.K)$  | $m^2.s^{-2}.K^{-1}$             |
| energia específica                     | joule por quilograma          | $J/kg$      | $m^2.s^{-2}$                    |
| condutividade térmica                  | watt por metro kelvin         | $W/(m.K)$   | $m.kg.s^{-3}.K^{-1}$            |
| densidade de energia                   | joule por metro cúbico        | $J/m^3$     | $m^{-1}.kg.s^{-2}$              |
| campo elétrico                         | volt por metro                | $V/m$       | $m.kg.s^{-3}.A^{-1}$            |
| densidade de carga elétrica            | coulomb por metro cúbico      | $C/m^3$     | $m^{-3}.s.A$                    |
| deslocamento elétrico                  | coulomb por metro quadrado    | $C/m^2$     | $m^{-2}.s.A$                    |
| permissividade                         | farad por metro               | $F/m$       | $m^{-3}.kg^{-1}.s^4.A^2$        |
| densidade de corrente                  | ampère por metro quadrado     | $A/m^2$     | $A/m^2$                         |
| campo magnético                        | ampère por metro              | $A/m$       | $A/m$                           |
| permeabilidade                         | henry por metro               | $H/m$       | $m.kg.s^{-2}.A^{-1}$            |
| energia molar                          | joule por mol                 | $J/mol$     | $m^2.kg.s^{-2}.mol^{-1}$        |
| entropia molar, calor molar            | joule por mol kelvin          | $J/(mol.K)$ | $m^2.kg.s^{-2}.K^{-1}.mol^{-1}$ |

Figura I.2 - Unidades SI derivadas

MCG 043-2

### ***1.3 Regras para Escrita e Emprego dos Símbolos das Unidades SI***

Os princípios gerais referentes a grafia dos símbolos das unidades, são:

- 1) Os símbolos das unidades são expressos em caracteres romanos (verticais) e, em geral, minúsculos. Entretanto, se o nome da unidade deriva de um nome próprio, a primeira letra do símbolo é maiúscula (Ex: hertz → Hz).
- 2) Os símbolos das unidades permanecem invariáveis no plural.
- 3) Os símbolos das unidades não são seguidos por ponto.

A Organização Internacional de Normalização (ISO) baixou recomendações adicionais para uniformizar as modalidades de emprego dos símbolos das unidades SI.

De acordo com essas recomendações:

- a) O produto de duas ou mais unidades pode ser indicado, de uma das seguintes maneiras:

Por exemplo: N.m, ou Nm

- b) Quando uma unidade derivada é constituída pela divisão de uma unidade por outra, pode-se utilizar a barra inclinada (/), o traço horizontal, ou potências negativas.

Por exemplo:  $m/s$ ,  $\frac{m}{s}$  ou  $m.s^{-1}$

- c) Nunca repetir na mesma linha mais de uma barra inclinada, a não ser com o emprego de parênteses, de modo a evitar quaisquer ambigüidades. Nos casos complexos devem utilizar-se parênteses ou potências negativas.

Por exemplo: -  $m/s^2$  ou  $m.s^{-2}$ , porém não  $m/s/s$   
 -  $m.kg/(S^3.A)$  ou  $m.kg.S^{-3}.A^{-1}$ , porém não  $m.kg/s^3/A$

Observação: O *quilograma*

Entre as unidades de base do Sistema Internacional, a unidade de massa é a única cujo nome, por motivos históricos, contém um prefixo. Os nomes dos múltiplos e submúltiplos decimais da unidade de massa são formados pelo acréscimo dos prefixos à palavra "grama".

Por exemplo:  $10^{-6}$  kg = 1 miligrama (1mg), porém nunca 1 microquilograma (1μkg).

### ***1.4 Múltiplos e Submúltiplos Decimais***

No SI foram estabelecidos para as unidades os *múltiplos e submúltiplos decimais* com a nomenclatura e simbologia dada na figura 1.4.

Apesar de serem previstos os múltiplos (da e h) bem como, os submúltiplos (d e c), o seu uso não é recomendado pelo SI. Desta forma, por exemplo, comprimentos, recomenda-se expressar em km, m, mm, μm, mas não em hm, dam, dm ou cm.

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

Figura I.4 - Múltiplos e Submúltiplos Decimais das Unidades do SI.

### I.5 Regras para Emprego dos Prefixos no SI

Os princípios gerais adotados pela ISO no emprego dos prefixos SI, são:

- 1) Os símbolos dos prefixos são impressos em caracteres romanos (verticais), sem espaçamento entre o símbolo do prefixo e o símbolo da unidade.
- 2) O conjunto formado pelo símbolo de um prefixo ligado ao símbolo de uma unidade constitui um novo símbolo inseparável (símbolo de um múltiplo ou submúltiplo dessa unidade) que pode ser elevado a uma potência positiva ou negativa e que pode ser combinado a outros símbolos de unidades para formar os símbolos de unidades compostas.

Por exemplo:  $1\text{cm}^3 = (10^{-2}\text{ m})^3 = 10^{-6}\text{m}^3$   
 $1\text{cm}^{-1} = (10^{-2}\text{ m})^{-1} = 10^2\text{m}^{-1}$   
 $1\mu\text{s}^{-1} = (10^{-6}\text{ s})^{-1} = 10^6\text{s}^{-1}$   
 $1\text{V/cm} = (1\text{V})/(10^{-2}\text{ m}) = 10^2\text{V/m}$

- 3) Os prefixos compostos, formados pela justaposição de vários prefixos SI, não são admitidos; por exemplo: 1nm, porém nunca 1m $\mu$ m
- 4) Um prefixo não deve ser empregado sozinho, por exemplo:  $10^6/\text{m}^3$ , porém nunca M/ $\text{m}^3$

### I.6 Alguns Enganos

São listados a seguir algumas situações errôneas muito comuns na prática que devem ser evitadas:

#### ERRADO

Km  
Kg  
 $\mu$   
a grama  
2 hs  
peso de 10 quilos  
80 KM  
250 °K (250 graus kelvin)

#### CERTO

km  
kg  
 $\mu\text{m}$   
o grama  
2 h  
massa de 10 kg (quilogramas)  
80 km/h  
250 K (250 kelvin)

## 1.7 Unidades não Pertencentes ao Sistema Internacional

### 1.7.1 Unidades em uso com o Sistema Internacional

O BIPM reconheceu que os utilizadores do SI terão necessidade de empregar conjuntamente certas unidades que não fazem parte do Sistema Internacional, porém estão amplamente difundidas. Estas unidades desempenham papel tão importante que é necessário conservá-las para uso geral com o Sistema Internacional de Unidades. Elas são apresentadas na figura I.5.

A combinação de unidades deste quadro com unidades SI, para formar unidades compostas, não deve ser praticada senão em casos limitados, a fim de não perder as vantagens de coerência das unidades SI.

| NOME     | SÍMBOLO | VALOR EM UNIDADES SI                                      |
|----------|---------|-----------------------------------------------------------|
| minuto   | min     | 1 min = 60 s                                              |
| hora     | h       | 1 h = 60 min = 3.600 s                                    |
| dia      | d       | 1 d = 24 h = 86.400 s                                     |
| grau     | °       | 1° = ( $\pi/180$ ) rad                                    |
| minuto   | '       | 1' = (1/60)° = ( $\pi/10.800$ ) rad                       |
| segundo  | "       | 1" = (1/60)' = ( $\pi/648.000$ ) rad                      |
| litro    | l, L    | 1 l = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> |
| tonelada | t       | 1 t = 10 <sup>3</sup> kg                                  |

Figura I.5 - Unidades em uso com o Sistema Internacional.

Do mesmo modo é necessário admitir algumas outras unidades não pertencentes ao Sistema Internacional, cujo uso é útil em domínios especializados da pesquisa científica, pois seu valor (a ser expresso em unidades SI) tem de ser obtido experimentalmente e, portanto não é exatamente conhecido (figura I.6).

### 1.7.2 Unidades admitidas temporariamente

Em virtude da força de hábitos existentes em certos países e em certos domínios, o BIPM julgou aceitável que as unidades contidas na figura I.7 continuassem a ser utilizadas, conjuntamente com as unidades SI, até que seu emprego não seja mais necessário.

Estas unidades não devem todavia ser introduzidas nos domínios onde elas não são mais utilizadas.

É altamente recomendável um estudo complementar do SI, para que se tome conhecimento de uma série de detalhes interessantes e importantes com respeito a esta normalização.

| NOME                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | SÍMBOLO | DEFINIÇÃO  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------|
| elétron-volt<br>unidade (unificada) de massa atômica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | eV<br>u | (a)<br>(b) |
| <p>(a) 1 elétron-volt é a energia cinética adquirida por um elétron atravessando uma diferença de potencial de 1 volt no vácuo:<br/> <math>1 \text{ eV} = 1,602 \, 19 \times 10^{-19}</math> aproximadamente</p> <p>(b) A unidade unificada de massa atômica é igual à fração 1/12 da massa de um átomo do nuclídeo <math>\text{C}_{12}</math>.<br/> <math>1 \text{ u} = 1,660 \, 57 \times 10^{-27} \text{ kg}</math> aproximadamente.</p> |         |            |

Figura I.6 - Unidades em uso com o Sistema Internacional, cujo valor em unidades SI é obtido experimentalmente.

| NOME                                                      | SÍMBOLO             | VALOR EM UNIDADES SI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| milha marítima<br>nó<br>angstrom<br>are<br>hectare<br>bar | Å<br>a<br>ha<br>bar | $1 \text{ milha marítima} = 1852 \text{ m}$<br>$1 \text{ milha marítima por hora} = (1852/3600)\text{m/s}$<br>$1 \text{ Å} = 0,1\text{nm} = 10^{-10}\text{m}$<br>$1 \text{ a} = 1 \text{ dam}^2 = 10^2 \text{ m}^2$<br>$1 \text{ ha} = 1 \text{ hm}^2 = 10^4 \text{ m}^2$<br>$1 \text{ bar} = 0,1\text{MPa} = 100\text{kPa} = 1000\text{hPa} = 10^5 \text{ Pa}$ |

Figura I.7 - Unidades em uso temporariamente com o Sistema Internacional.