

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

SI

1ª Edição Brasileira da 8ª Edição do BIPM

Sistema
Internacional de
Unidades SI



Sistema Internacional de Unidades SI

Le Système international d'unités

Tradução autorizada pelo BIPM da 8ª edição de 2006 de sua publicação bilíngue Le Système international d'unités, conhecida como Brochure sur le SI em francês, ou The International System of Units, conhecida como SI brochure em inglês.

Esta versão em português substitui a tradução “SI Sistema Internacional de Unidades, 8ª edição (Revisada), Rio de Janeiro, 2007, ISBN 85-87-87090-85-2”, que é uma tradução da 7ª edição de 1998 do original “Le Système international d'unités” (em francês) ou “The International System of Units” (em inglês), BIPM.

Grupo de Trabalho para a tradução

Designado pelo Presidente do Inmetro, João Alziro Herz da Jornada nas Portarias nº 300 de 02/09/2008 e 121 de 05/05/2009.

Coordenador:

Paulo Roberto da Fonseca Santos - Dimci/Dicep

Equipe:

Aldo Correia Dutra - Inmetro/Presi

Carla Tereza Coelho - Inmetro/Dimci/Diopt

Giorgio Moscati - Inmetro

Iakya Borraquens Couceiro - Inmetro/Dimci/Diopt

José Blois Filho - Inmetro/Dimel/Dider

José Carlos Valente de Oliveira - Inmetro/Dimci/Dimec

Luiz Duarte de Arraes Alencar - Inmetro/Cicma/Sepin

Sérgio Pinheiro de Oliveira - Inmetro/Dimci/Dimec

Pessoas convidadas pelo coordenador:

Evaldo Simoes da Fonseca - IRD/LNMRI/Laboratório de Nêutrons

Ricardo José de Carvalho - Observatório Nacional

© 2012 Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO)
Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.

Título original em francês
Le Système international d'unités - SI

Inmetro

João Alziro Herz da Jornada
Presidente do Inmetro

Oscar Acserald
Diretor de Planejamento e Desenvolvimento

Renata Bondim
Chefe de Centro de Capacitação

Luiz Duarte de Arraes Alencar
Chefe do Serviço de Produtos de Informação

Desenvolvimento e Edição

Alciene Salvador
Paulo Roberto da Fonseca Santos
Coordenação Editorial

Alciene Salvador
Projeto Gráfico

Carla Thereza Coelho
Luiz Duarte de Arraes Alencar
Sérgio Pinheiro de Oliveira
Revisores

André Rocha
Capa

Disponível também em: <<http://www.inmetro.gov.br>>

Catálogo no Serviço de Documentação e Informação do Inmetro

S623 Sistema Internacional de Unidades : SI. — Duque de Caxias, RJ :
INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012.
94 p.

Inclui índice.
Traduzido de: Le Système international d'unités - The International
System of Units 8. ed. 2006.
ISBN: 978-85-86920-11-0

1. Sistema SI. 2. Unidade de Medida. 3. Metrologia. I. INMETRO
II. Título

CDD 530.812

INMETRO
Centro de Capacitação - CICMA
Serviço de Produtos de Informação - SEPIN
Av. Nossa Senhora das Graças, 50
25250-550 Xerém - Duque de Caxias/RJ
Tel.: 21 2679 - 9349
publicacoes@inmetro.gov.br

Sumário

Apresentação

Prefácio da 8ª edição

O BIPM e a Convenção do Metro 11

1 Introdução

1.1	Grandezas e unidades	15
1.2	O Sistema Internacional de Unidades (SI) e o sistema de grandezas correspondentes	16
1.3	Dimensão das grandezas	17
1.4	Unidades coerentes, unidades derivadas que possuem nomes especiais e prefixos SI	18
1.5	As unidades SI no quadro da relatividade geral	19
1.6	Unidades de grandeza que descrevem efeitos biológicos	19
1.7	Legislação sobre as unidades	20
1.8	Nota histórica	20

2 Unidades SI

2.1	Unidades de base do SI	23
2.1.1	Definições	23
2.1.1.1	Unidade de comprimento (metro)	24
2.1.1.2	Unidade de massa (quilograma)	24
2.1.1.3	Unidade de tempo (segundo)	24
2.1.1.4	Unidade de corrente elétrica (ampere)	25
2.1.1.5	Unidade de temperatura termodinâmica (kelvin)	25
2.1.1.6	Unidade de quantidade de substância (mol)	26
2.1.1.7	Unidade de intensidade luminosa (candela)	28
2.1.2	Símbolos das sete unidades de base	28
2.2	Unidades SI derivadas	
2.2.1	Unidades derivadas expressas a partir das unidades de base	29
2.2.2	Unidades com nomes e símbolos especiais; unidades que incorporam nomes e símbolos especiais	29
2.2.3	Unidades para grandezas adimensionais ou grandezas de dimensão um	32

3 Múltiplos e submúltiplos decimais das unidades SI

3.1	Prefixos SI	34
3.2	O quilograma	35

4 Unidades fora do SI

4.1 Unidades fora do SI em uso com o SI e unidades baseadas em constantes fundamentais	36
4.2 Outras unidades fora do SI cujo uso não é recomendado	42

5 Regras para grafia de nomes e símbolos das unidades e expressão dos valores das grandezas

5.1 Símbolos das unidades	43
5.2 Nomes das unidades	47
5.3 Regras e convenções de estilo para expressar os valores das grandezas	44
5.3.1 Valor e valor numérico de uma grandeza; utilização do cálculo formal	44
5.3.2 Símbolos de grandezas e símbolos de unidades	46
5.3.3 Grafia do valor de uma grandeza	46
5.3.4 Grafia de números e separador decimal	46
5.3.5 Expressão da incerteza de medição associada ao valor de uma grandeza	47
5.3.6 Multiplicação ou divisão de símbolos de grandezas, valores de grandezas ou números	47
5.3.7 Valor de grandeza adimensional ou de grandezas de dimensão um	47

Anexos

Anexo 1 – As decisões da CGPM e do CIPM	49
--	----

Anexo 2 – Realização prática das definições das principais unidades	85
--	----

Anexo 3 – Unidades para grandezas fotoquímicas e fotobiológicas	87
--	----

Lista dos acrônimos utilizados nesta publicação

1 Sigla de laboratórios, Comissões e Conferências	89
2 Acrônimos para Termos Científicos	90

Índice	91
---------------	----

Apresentação

A consolidação da cultura metrológica é estratégica para o desenvolvimento das organizações. Ela contribui para ganhos de produtividade, qualidade dos produtos e serviços, redução de custos, eliminação de desperdícios e relações comerciais mais justas. A tarefa não é trivial, requer ações permanentes que vêm sendo lideradas pelo Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) desde sua criação em 1875, implica na difusão ampla de valores da qualidade por toda a sociedade, trabalho de grupo com todas as áreas do conhecimento e de diferentes nações, treinamentos especializados e conhecimento profundo de seus atores.

O Inmetro, consciente de que a disseminação da cultura metrológica no Brasil é uma de suas principais missões, disponibiliza à sociedade esta edição da brochura “Sistema Internacional de Unidades, SI”.

O SI, que recebeu este nome em 1960, teve como propósito de sua criação a necessidade de um sistema prático mundialmente aceito nas relações internacionais, no ensino e no trabalho científico, sendo, naturalmente, um sistema que evolui de forma contínua para refletir as melhores práticas de medição que são aperfeiçoadas com o decorrer do tempo.

A presente edição brasileira é uma tradução da 8ª edição bilíngue elaborada pelo BIPM em 2006 (Le Système international d’unités, em francês, e The International System of Units, em inglês) e é o resultado do cuidadoso trabalho dos colaboradores e especialistas mencionados na folha de rosto, que trouxeram para o nosso idioma o texto original em francês e em inglês. Este documento também pode ser gratuitamente obtido no sítio do Inmetro www.inmetro.gov.br.

Na editoração deste trabalho houve o cuidado de manter a mesma formatação do texto original do BIPM. Sempre que possível, foram mantidos os textos de cada página de acordo com o original, facilitando a comparação com a publicação nos idiomas de origem.

Esta tradução acolhe em seu texto decisões do Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, assim como as regras adotadas pelo Bureau Internacional de Pesos e Medidas- BIPM para a formação do nome de múltiplos e submúltiplos das unidades de medida, introduzindo duas alterações na grafia e pronúncia de algumas unidades. A primeira, baseada na reinserção das letras k; w e y no alfabeto português (Anexo 1, Base 1, 2º parágrafo, Alínea C do Acordo) consiste na mudança da grafia do prefixo quilo para kilo e, conseqüentemente, do nome da unidade de massa quilograma para kilograma. Da mesma forma, o nome kilo passa a ser utilizado na formação dos múltiplos e submúltiplos das unidades. (O Acordo cita, na mesma Alínea, como exemplo desta nova grafia, a unidade kilowatt).

A segunda traz uma modificação da grafia dos múltiplos e submúltiplos das unidades, passando-se a observar a regra de formação do BIPM que estabelece a simples junção dos prefixos ao nome das unidades, sem modificações da grafia e da pronúncia originais tanto do prefixo quanto da unidade. Assim, por exemplo, temos nesta publicação os prefixos kilo e mili que, associados à unidade de comprimento metro, formam as unidades quilometro e milímetro (sílabas tônicas em “me”, pronunciada como “mé”) respectivamente, e não quilômetro e milímetro. Tal regra de justaposição dos prefixos às unidades foi aplicada nos diversos múltiplos e submúltiplos citados nesta edição, conforme detalhado na Nota dos Tradutores.

Importante observar que as alterações dos nomes aqui mencionadas não eliminam a utilização das formas atualmente em uso, como, por exemplo, quilograma e centímetro, cujas grafias e pronúncias permanecem aceitas até que as novas formas kilograma e centímetro sejam gradativamente assimiladas no decorrer do tempo.

Note-se que, especificamente em relação ao prefixo kilo, o próprio Acordo Ortográfico de 1990, na Alínea já citada, admite a grafia atual quilo, cujo emprego continuará a ser considerado correto.

JOÃO ALZIRO HERZ DA JORNADA
Presidente do Inmetro

Nota dos Tradutores

1) A tabela seguinte apresenta a lista de palavras deste documento que podem ter dupla grafia. A nova grafia está em concordância com a regra do SI para formação do nome das unidades justapondo o prefixo ao nome da unidade.

Prefixo SI + Unidade SI	Nova grafia pela regra do SI (utilizada nesta publicação)	Grafia atual, aceita mas a ser gradualmente extinta
centi + metro	centímetro	centímetro
deca + metro	decametro	decâmetro
deci + metro	decímetro	decímetro
exa + metro	exametro	exâmetro
giga + metro	gigametro	gigâmetro
hecto + metro	hectometro	hectômetro
kilo + metro	kilometro	quilômetro
micro + metro	micrometro	micrômetro
mili + metro	milímetro	milímetro
mili + radiano	miliradiano	milirradiano
mili + segundo	milissegundo	milissegundo
nano + metro	nanometro	nanômetro

2) As alterações nas grafias de nomes e pronúncias de unidades adotadas nesta publicação permitirão que novas palavras (ainda não registradas nos dicionários da língua portuguesa), oriundas do uso popularizado pela ciência, observem em seu processo de criação a regra adotada pelo BIPM para a formação de múltiplos e submúltiplos, como nos exemplos abaixo.

Regra de formação do BIPM	Grafia a ser adotada	Grafia a ser evitada
atto + metro	attometro	attômetro
femto + metro	femtometro	femtômetro
mega + metro	megametro	megâmetro
peta + metro	petametro	petâmetro
pico + metro	picometro	picômetro
tera + metro	terametro	terâmetro

3) A tabela a seguir apresenta a lista das unidades cujos nomes foram modificados em relação à publicação do Inmetro SI Sistema Internacional de Unidades, 8ª edição (Revisada), 2007.

Grandeza	Nome da unidade SI (2012)	Nome da unidade SI (2007)
ângulo sólido	esferorradiano	esterradiano
comprimento	angstrom	ångström
corrente elétrica	ampere	ampère
energia	elétron-volt	eletronvolt

Prefácio da 8ª edição

Nós temos o prazer de apresentar a 8ª edição deste trabalho, comumente chamado em francês de *Brochure sur le SI* ou *SI brochure* em inglês, que define e apresenta o Sistema Internacional de Unidades, o SI. Este trabalho é publicado em papel e também é disponível na forma digital no site do BIPM, em inglês, no endereço www.bipm.org/en/si/si_brochure e, em francês, no endereço www.bipm.fr/si/si_brochure.

A partir de 1970 o BIPM publicou sete edições deste documento. Seu principal objetivo é definir e promover o SI, que é empregado mundialmente como a linguagem preferida nas áreas científica e tecnológica desde que foi adotado, em 1948, pela 9ª CGPM.

O SI é, naturalmente, um sistema que evolui para refletir as melhores práticas de medição da época. Portanto, esta 8ª edição contém um número significativo de mudanças em relação à edição anterior. Como anteriormente, são apresentadas a lista das definições de todas as unidades de base e todas as Resoluções e Recomendações da CGPM e do CIPM que estão relacionadas ao Sistema Internacional de Unidades. A referência oficial das decisões do CIPM e da CGPM são encontradas nos volumes dos *Comptes Rendus* da CGPM (CR) e nos *Procès-Verbaux* do CIPM (PV); muitas destas decisões também são apresentadas na revista *Metrologia*. Para simplificar o emprego prático do SI, o texto fornece explicações referentes a estas decisões e o primeiro capítulo traz uma introdução geral sobre o estabelecimento de sistemas de unidades e, especialmente, do SI. As definições e as realizações práticas de todas as unidades são consideradas no contexto da relatividade geral. Pela primeira vez foi introduzida, nesta publicação, uma breve discussão das unidades associadas às grandezas biológicas.

O Anexo 1 reproduz, em ordem cronológica, todas as decisões (Resoluções, Recomendações e Declarações) promulgadas a partir de 1889 pela CGPM e pelo CIPM sobre as unidades de medida e o Sistema Internacional de Unidades.

O Anexo 2 só existe em meio digital, disponível no site do BIPM, em francês no endereço www.bipm.org/fr/si/si_brochure/appendix2/ e, em inglês, no endereço www.bipm.org/en/si/si_brochure/appendix2/. Ele expõe, em linhas gerais, a realização prática de algumas unidades importantes, consistentes com as definições dadas no texto principal, que os laboratórios metrológicos podem usar para realizar as unidades físicas e para calibrar padrões materiais e instrumentos de medição da mais alta qualidade. Este anexo será atualizado regularmente para refletir os aperfeiçoamentos nas técnicas experimentais para a realização das unidades.

O Anexo 3 apresenta as unidades empregadas nas medidas dos efeitos actínicos em materiais biológicos.

O Comitê Consultivo para Unidades do CIPM (CCU) foi o responsável pela redação deste documento, cujo texto final foi aprovado pelo CCU e pelo CIPM. Esta 8ª edição é uma revisão da 7ª edição (1998); ela considera as decisões tomadas pela CGPM e pelo CIPM desde a publicação da 7ª edição.

Este documento tem sido usado como um trabalho de referência em muitos países, organizações e uniões científicas há mais de 34 anos. Para torná-lo acessível ao maior número de leitores, o CIPM decidiu, em 1985, incluir uma versão em inglês do texto na 5ª edição; nas edições posteriores, a apresentação bilíngue continuou sendo praticada. Para a primeira versão em inglês o BIPM empenhou-se em produzir uma tradução fiel do original francês em colaboração com o NPL (Teddington, Inglaterra) e o NIST (Gaithersburg, EUA), NBS naquela ocasião.

Para esta edição as versões em inglês e em francês foram preparadas pelo CCU, em colaboração com o BIPM.

A 22^a CGPM decidiu, em 2003, seguindo uma decisão do CIPM de 1997, que “o símbolo para o separador decimal deve ser o ponto ou a vírgula sobre a linha”. De acordo com esta decisão, e seguindo o hábito das duas línguas, nesta edição, no texto em inglês é usado o ponto sobre a linha como separador decimal e, no texto em francês, é empregada a vírgula sobre a linha como separador decimal. Isto não tem implicação para a tradução do separador decimal em outras línguas. Um ponto a ser observado é a existência de pequenas variações de ortografia nos países de língua inglesa (por exemplo, “metre” e “meter”, “litre” e “liter”). Em relação a este ponto, o texto apresentado em inglês segue a Norma Internacional ISO 31, Quantities and Units.

O leitor deve observar que o registro oficial é sempre aquele do texto em francês. Este deve ser usado quando for necessária uma referência confiável ou quando houver uma dúvida sobre a interpretação do texto.

Março de 2006

E. Göbel

Presidente do CIPM

I. M. Mills

Presidente do CCU

A. J. Wallard

Diretor do BIPM

O BIPM e a Convenção do Metro

O Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) foi criado pela Convenção do Metro, assinada em Paris, em 20 de maio de 1875 por 17 Estados*, por ocasião da última sessão da Conferência Diplomática do Metro. Esta Convenção foi modificada em 1921.

O BIPM tem sua sede perto de Paris, nos domínios do Pavilhão de *Breteuil* (43.520 m²) (Parque de *Saint-Cloud*), posto à sua disposição pelo Governo francês; sua manutenção, no que se refere às despesas, é assegurada pelos Estados Membros da Convenção do Metro.

O BIPM tem por missão assegurar a unificação mundial das medições. Assim, é encarregado de:

- estabelecer os padrões fundamentais e as escalas para a medição das principais grandezas físicas e de conservar os protótipos internacionais;
- efetuar a comparação de padrões nacionais e internacionais;
- assegurar a coordenação das técnicas de medição correspondentes;
- efetuar e coordenar as medições das constantes físicas fundamentais relevantes para estas atividades.

O BIPM opera sob a supervisão exclusiva do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), que atua sob autoridade da Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), à qual apresenta seu relatório do trabalho desenvolvido pelo BIPM.

Delegados de todos os Estados Membros da Convenção do Metro têm assento na CGPM que, atualmente, ocorre a cada quatro anos. A função destas reuniões é:

- discutir e promover as ações necessárias para assegurar a disseminação e o aprimoramento do Sistema Internacional de Unidades (SI), forma moderna do Sistema Métrico;
- sancionar os resultados das novas determinações metrológicas fundamentais e adotar as diversas resoluções científicas de cunho internacional;
- tomar todas as decisões importantes concernentes ao orçamento, à organização e ao desenvolvimento do BIPM.

O CIPM é composto de 18 membros, cada um de um Estado diferente, atualmente reunindo-se todos os anos. A secretaria executiva desse Comitê envia aos governos dos Estados Membros da Convenção do Metro um Relatório Anual sobre a situação administrativa e financeira do BIPM. A principal missão do CIPM é garantir a unificação mundial das unidades de medida, agindo diretamente ou submetendo propostas à CGPM.

Em 31 de dezembro de 2005, 51 Estados eram membros desta Convenção: África do Sul, Alemanha, Argentina, Austrália, Áustria, Bélgica, **Brasil**, Bulgária, Camarões, Canadá, Chile, China, Cingapura, República Popular Democrática da Coreia, República da Coreia, Dinamarca, República Dominicana, Egito, Espanha, Estados Unidos, Eslováquia, Finlândia, França, Holanda, Grécia, Hungria, Índia, Indonésia, Irã, Irlanda, Israel, Itália, Japão, Malásia, México, Noruega, Nova-Zelândia, Paquistão, Polônia, Portugal, Reino Unido, Romênia, Rússia (Federação), Sérvia e Montenegro, Suécia, Suíça, República Tcheca, Tailândia, Turquia, Uruguai e Venezuela.

Vinte Estados e entidades econômicas são associados à CGPM: Belarus, CARICOM, Costa Rica, Croácia, Cuba, Equador, Eslovênia, Estônia, Hong Kong (China), Jamaica, Cazaquistão, Quênia, Letônia, Lituânia, Malta, Panamá, Filipinas, Taiwan (China), Ucrânia e Vietnam.

*N.T.: O Brasil foi um dos dezessete estados signatários da Convenção do Metro.

Limitadas, inicialmente, às medidas de comprimento e de massa e aos estudos metrológicos relacionados com essas grandezas, as atividades do BIPM foram estendidas aos padrões de medidas elétricas (1927), fotométricas e radiométricas (1937), radiações ionizantes (1960), escalas de tempo (1988) e à química (2000). Para este fim, os laboratórios originais, construídos em 1876-78, foram ampliados em 1929. Novos edifícios foram construídos em 1963-64, para os laboratórios da Seção de Radiações Ionizantes; em 1984, para os trabalhos sobre lasers e em 1988, para biblioteca e escritórios. Em 2001, foi inaugurado um novo prédio para oficina, escritórios e salas de reunião.

Trabalham nos laboratórios do BIPM aproximadamente 45 físicos e técnicos. Eles fazem principalmente pesquisas metrológicas, comparações internacionais das realizações das unidades e calibrações de padrões. Esses trabalhos são objeto de um relatório anual detalhado, que é publicado no *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International des Poids et Mesures*.

Em consequência da expansão das tarefas confiadas ao BIPM em 1927, o CIPM instituiu, com o nome de Comitês Consultivos, órgãos destinados a esclarecer as questões a ele submetidas para estudo e aconselhamento. Os Comitês Consultivos, que podem criar Grupos de Trabalho temporários ou permanentes para o estudo de assuntos específicos, são encarregados de coordenar os trabalhos internacionais efetuados nos seus respectivos campos e de propor ao CIPM as recomendações referentes às unidades.

Os Comitês Consultivos têm um regulamento comum (BIPM *Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1963, **31**, 97). Os encontros desses Comitês Consultivos ocorrem em intervalos irregulares. O presidente de cada Comitê Consultivo é designado pelo CIPM e, em geral, é um membro do CIPM. Os membros dos Comitês Consultivos são laboratórios de metrologia e institutos especializados, cuja lista é estabelecida pelo CIPM. Os laboratórios e institutos enviam delegados de sua livre escolha. Além destes, há membros individuais designados pelo CIPM e ainda um representante do BIPM (Critérios para ser membro dos Comitês Consultivos, BIPM. *Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1996, **64**, 6). Atualmente existem dez Comitês, a saber:

1. Comitê Consultivo para Eletricidade e Magnetismo (CCEM), novo nome dado em 1997 ao Comitê Consultivo para Eletricidade (CCE) criado em 1927;
2. Comitê Consultivo para Fotometria e Radiometria (CCPR), novo nome dado em 1971 ao Comitê Consultivo para Fotometria (CCP) criado em 1933 (entre 1930 e 1933 as questões sobre fotometria eram tratadas pelo CCE);
3. Comitê Consultivo para Termometria (CCT), criado em 1937;
4. Comitê Consultivo para Comprimento (CCL), novo nome dado em 1997 ao Comitê Consultivo para Definição do Metro (CCDM) criado em 1952;
5. Comitê Consultivo para Tempo e Frequência (CCTF), novo nome dado em 1997 ao Comitê Consultivo para a Definição do Segundo (CCDS) criado em 1956;
6. Comitê Consultivo para Radiações Ionizantes (CCRI), novo nome dado em 1997 ao Comitê Consultivo para Padrões de Radiações Ionizantes (CCEMRI) criado em 1958 (em 1969, esse Comitê instituiu quatro seções: seção I (Raios x e γ , elétrons), seção II (Medição de radionuclídeos), seção III (Medição de nêutrons), seção IV (padrões de energia α); esta última seção foi extinta em 1975 e suas atividades foram confiadas à seção II);

7. Comitê Consultivo para Unidades (CCU), criado em 1964 (este comitê substituiu a “Comissão do Sistema de Unidades”, instituída pelo CIPM em 1954);
8. Comitê Consultivo para Massa e Grandezas Relacionadas (CCM), criado em 1980;
9. Comitê Consultivo para Quantidade de Substância: Metrologia Química (CCQM), criado em 1993;
10. Comitê Consultivo para Acústica, Ultrassom e Vibração (CCAUV), criado em 1999.

Os Anais da CGPM e do CIPM são publicados pelo BIPM nas seguintes coleções:

- *Comptes-Rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures*;
- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures*.

O CIPM decidiu em 2003 que os relatórios das sessões dos Comitês Consultivos não mais seriam impressos, e, sim, colocados em seu idioma original no site do BIPM.

O BIPM também publica monografias sobre assuntos específicos da metrologia e, sob o título *Le Système international d'unités SI*, uma publicação, atualizada periodicamente, reunindo todas as decisões e recomendações referentes às unidades.

A coleção dos *Travaux et mémoires du Bureau international des poids et mesures* (22 volumes publicados de 1881 a 1966) e da *Recueil de travaux du Bureau international des poids et mesures* (11 volumes publicados de 1966 a 1988) foi suspensa por decisão do CIPM.

O trabalho científico do BIPM é publicado nas revistas científicas e uma lista anual das publicações é fornecida no *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du BIPM*.

Desde 1965 a revista internacional *Metrologia*, editada sob os auspícios do CIPM, publica artigos sobre a metrologia científica, o aprimoramento dos métodos de medição, os trabalhos sobre padrões e sobre as unidades, assim como relatórios sobre atividades, decisões e recomendações dos órgãos da Convenção do Metro.

1 Introdução

1.1 Grandezas e unidades

O valor de uma grandeza é geralmente expresso sob a forma do produto de um número por uma unidade. A unidade é apenas um exemplo específico da grandeza em questão, usada como referência. O número é a razão entre o valor da grandeza considerada e a unidade. Para uma grandeza específica, podemos utilizar inúmeras unidades diferentes. Por exemplo, a velocidade v de uma partícula pode ser expressa sobre a forma $v = 25 \text{ m/s} = 90 \text{ km/h}$, onde o metro por segundo e o quilometro por hora são unidades alternativas para expressar o mesmo valor da grandeza velocidade. Todavia, como é importante se dispor de um conjunto de unidades bem definidas, universalmente reconhecidas e fáceis de utilizar, para a infinidade de medições que suportam a complexidade de nossa sociedade, as unidades escolhidas devem ser acessíveis a todos, supostas constantes no tempo e no espaço e fáceis de realizar com uma exatidão elevada.

Para se estabelecer um sistema de unidades, como o Sistema Internacional de Unidades, o SI, é necessário primeiro estabelecer um sistema de grandezas e uma série de equações que definam as relações entre essas grandezas. Isto é necessário porque as equações entre as grandezas determinam as equações que relacionam as unidades, como descrito a seguir. É conveniente, também, escolher definições para um número restrito de unidades, que são denominadas *unidades de base* e, em seguida, definir unidades para todas as outras grandezas como produtos de potências de unidades de base, que são denominadas *unidades derivadas*. Da mesma maneira, as grandezas correspondentes são descritas como *grandezas de base* e *grandezas derivadas*. As equações que fornecem as grandezas derivadas, em função das grandezas de base, são utilizadas para exprimir as unidades derivadas em função das unidades de base (ver seção 1.4). Assim, é lógico que a escolha das grandezas e equações que relacionam as grandezas preceda a escolha das unidades.

Sob o ponto de vista científico, a divisão das grandezas em grandezas de base e grandezas derivadas é questão de convenção; isto não é fundamental para a compreensão da física. Todavia, no que se refere às unidades, é importante que a definição de cada unidade de base seja efetuada com cuidado particular, a fim de satisfazer às exigências mencionadas no primeiro parágrafo, acima, pois elas proporcionam o fundamento do sistema de unidades como um todo. As definições das unidades derivadas em função das unidades de base decorrem das equações que definem as grandezas derivadas em função das grandezas de base. Portanto, o estabelecimento de um sistema de unidades, que constitui o objetivo desta publicação, está intimamente ligado às equações algébricas que relacionam as grandezas correspondentes.

O número de grandezas derivadas importantes para a ciência e a tecnologia é seguramente ilimitado. Quando novas áreas científicas se desenvolvem, novas grandezas são introduzidas pelos pesquisadores, a fim de representarem as propriedades da área e, com essas novas grandezas, vêm novas equações que se relacionam com grandezas familiares e depois com as grandezas de base. Dessa forma, as unidades derivadas a serem utilizadas com essas novas grandezas podem

Os termos **grandeza** e **unidade** são definidos no Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais da Metrologia (VIM).

A grandeza velocidade, v , pode ser expressa em função das grandezas distância percorrida x e a duração de percurso t por meio da equação:

$$v = dx/dt.$$

Na maioria dos sistemas de grandeza e de unidades, a distância x e o tempo t são considerados como grandezas de base, para as quais se pode escolher como unidades de base o metro (símbolo m) e o segundo (símbolo s). A velocidade v é, então, considerada uma grandeza derivada, cuja unidade é o metro por segundo (símbolo m/s).

Por exemplo, em eletroquímica, a mobilidade elétrica de um íon, u , é definida como a relação entre sua velocidade v e a intensidade do campo elétrico

$$E: u = v/E.$$

A unidade derivada de mobilidade elétrica é, então, dada por meio da fórmula: $(\text{m/s})/(\text{V/m}) = \text{m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, e pode ser facilmente relacionada com as unidades de base escolhidas (V é o símbolo do volt, unidade derivada no SI).

ser definidas como sendo o produto de potências das unidades de base escolhidas previamente.

1.2 O Sistema internacional de unidades (SI) e o sistema de grandezas correspondente

Esta publicação tem por objetivo apresentar informações necessárias para a definição e utilização do Sistema Internacional de Unidades, universalmente conhecido como SI. O SI foi estabelecido e definido pela CGPM (ver a seção 1.8 Nota histórica) *.

O nome Sistema Internacional de Unidades, e a abreviatura SI, foram estabelecidos pela 11ª CGPM em 1960.

O sistema de grandezas a ser utilizado com o SI, inclusive as equações que relacionam essas grandezas entre si, corresponde de fato às grandezas e equações da física, bem conhecidas de todos os cientistas, técnicos e engenheiros. Elas aparecem em todos os manuais e em numerosas publicações de referência, mas frequentemente constituem apenas uma seleção dentre todas as grandezas e equações existentes, que são em número ilimitado. Um grande número de grandezas, seus nomes e símbolos recomendados e as equações que relacionam uma às outras são mencionadas nas normas internacionais ISO 31 e IEC 60027 elaboradas pelo Comitê Técnico 12 da Organização Internacional de Normalização ISO/TC12 e pelo Comitê Técnico 25 da Comissão Internacional de Eletrotécnica (IEC/TC 25). As normas ISO 31 e IEC 60027 estão em fase de revisão nessas duas organizações, que trabalham em conjunto. A norma revisada por essas duas organizações será a norma ISO/IEC 80000, *Grandezas e unidades* na qual está previsto que o conjunto de grandezas e equações utilizadas com o SI seja designado pelo nome de Sistema Internacional de Grandezas.

A equação newtoniana da inércia que relaciona a força F à massa m e à aceleração a de uma partícula: $F = ma$, e a equação da energia cinética T de uma partícula em movimento à velocidade v : $T = mv^2/2$ são exemplos de equações de grandezas utilizadas com o SI.

As grandezas de base utilizadas no SI são: comprimento, massa, tempo, corrente elétrica, temperatura termodinâmica, quantidade de substância e intensidade luminosa. As grandezas de base são, por convenção, consideradas como independentes. As unidades de base correspondentes do SI, escolhidas pela CGPM, são: metro, quilograma, segundo, ampere, kelvin, mol e candela. As definições dessas unidades de base são dadas na seção 2.1.1, no capítulo seguinte. As unidades derivadas do SI são, então, formadas por produtos de potências das unidades de base, segundo relações algébricas que definem as grandezas derivadas correspondentes, em função das grandezas de base (ver a seção 1.4).

Em raras ocasiões pode-se escolher entre várias formas de relações entre grandezas. Um exemplo particularmente importante se refere à definição das grandezas eletromagnéticas. As equações eletromagnéticas racionalizadas se baseiam em quatro grandezas, utilizadas com o SI: comprimento, massa, tempo e corrente elétrica. Nessas equações, a constante elétrica ϵ_0 (permissividade do vácuo) e a constante magnética μ_0 (permeabilidade do vácuo), possuem dimensões e valores tais que verificam a equação $\epsilon_0 \mu_0 = 1/c_0^2$, onde c_0 é a velocidade da luz no vácuo. A lei de Coulomb que descreve a força eletrostática entre duas partículas com cargas q_1 e q_2 , separadas por uma distância r , é expressa pela equação**:

* As siglas utilizadas nesta publicação e seu significado estão na página 89.

** Para designar vetores são usados símbolos em negrito.

$$\mathbf{F} = \frac{q_1 q_2 \mathbf{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

e a equação correspondente da força magnética exercida entre dois segmentos de fios elétricos finos, percorridos por correntes elétricas $i_1 d\mathbf{l}_1$ e $i_2 d\mathbf{l}_2$ é expressa pela equação:

$$d^2 \mathbf{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_1 d\mathbf{l}_1 \times (i_2 d\mathbf{l}_2 \times \mathbf{r})}{r^3}$$

onde $d^2 \mathbf{F}$ é a diferencial segunda da força $\mathbf{F}$. Essas equações, nas quais se baseia o SI, são diferentes daquelas utilizadas nos sistemas CGS-UES, CGS-UEM e CGS de Gauss, nas quais ϵ_0 e μ_0 são grandezas adimensionais, escolhidas para serem iguais a um, e os fatores de racionalização 4π são omitidos.

1.3 Dimensão das grandezas

Por convenção as grandezas físicas são organizadas segundo um sistema de dimensões. Cada uma das sete grandezas de base do SI é considerada como tendo sua própria dimensão, que é simbolicamente representada por uma única letra maiúscula em tipo romano sem serifa. Os símbolos utilizados para as grandezas de base e os símbolos utilizados para indicar sua dimensão são dados a seguir:

Grandezas de base e dimensões utilizadas no SI

Grandezas de base	Símbolo de grandeza	Símbolo de dimensão
comprimento	l, x, r , etc.	L
massa	m	M
tempo, duração	t	T
corrente elétrica	I, i	I
temperatura termodinâmica	T	Θ
quantidade de substância	n	N
intensidade luminosa	I_v	J

Todas as outras grandezas são grandezas derivadas, que podem ser expressas em função das grandezas de base por meio de equações da física. As dimensões das grandezas derivadas são escritas sob a forma de produtos de potências das dimensões das grandezas de base por meio de equações que relacionam as grandezas derivadas às grandezas de base. Em geral a dimensão de uma grandeza Q é escrita sob a forma de um produto dimensional

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \Theta^\epsilon N^\zeta J^\eta$$

onde os expoentes $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta$ e η , que são em geral números inteiros pequenos, positivos, negativos ou zero, são chamados de expoentes dimensionais. A informação fornecida pela dimensão de uma grandeza derivada sobre a relação entre essa grandeza e as grandezas de base é a mesma informação contida nas unidades SI para a grandeza derivada, ela mesma sendo obtida como o produto de potências das unidades de base do SI.

Os símbolos das grandezas são sempre escritos em itálico enquanto que os símbolos das dimensões são escritos em maiúsculo tipo romano sem serifa.

Para algumas grandezas, é possível utilizar diferentes símbolos, como os indicados para comprimento e corrente elétrica.

Note que os símbolos indicados para as grandezas são simples *recomendações*. Em contrapartida, os símbolos das unidades, cujo estilo e forma aparecem nesta publicação, são *obrigatórios* (ver capítulo 5).

Os símbolos das dimensões e os expoentes são tratados segundo regras comuns da álgebra. Por exemplo, a dimensão da área se escreve L^2 ; a dimensão da velocidade LT^{-1} ; a dimensão da força LMT^{-2} ; e a dimensão da energia L^2MT^{-2} .

Existem algumas grandezas derivadas Q para as quais a equação de definição é tal que todos os expoentes dimensionais na expressão da dimensão de Q são iguais a zero. Isto se aplica, em particular, para uma grandeza definida como a razão entre duas grandezas de mesmo tipo. Essas grandezas são descritas como sendo *adimensionais*, ou de *dimensão um*. A unidade derivada coerente dessas grandezas adimensionais é sempre o número um, 1, isto é, a razão entre duas unidades idênticas para duas grandezas do mesmo tipo.

Existem também, grandezas que não podem ser descritas por meio das sete grandezas de base do SI, mas cujo valor é determinado por contagem. Por exemplo, o número de moléculas, a degenerescência em mecânica quântica (o número de estados independentes de mesma energia) e a função de partição na termodinâmica estatística (o número de estados térmicos acessíveis). Essas grandezas de contagem são também, geralmente, consideradas como grandezas adimensionais, ou de dimensão um, e possuem como unidade o número 1(um).

Por exemplo, o índice de refração de um meio é definido como sendo a relação entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz nesse meio; é a relação entre duas grandezas do mesmo tipo. Então, é uma grandeza adimensional.

Outros exemplos de grandezas sem dimensão são: ângulo plano, fração mássica, permissividade relativa, permeabilidade relativa e finura de uma cavidade Fabry-Perot.

1.4 Unidades coerentes e unidades derivadas que possuem nomes especiais e prefixos SI

As unidades derivadas são definidas como sendo o produto de potências das unidades de base. Quando o produto de potências não compreende fator numérico diferente de 1, as unidades derivadas são chamadas de *unidades derivadas coerentes*. As unidades de base e as unidades derivadas coerentes do SI formam um conjunto coerente, designado pelo nome de *conjunto coerente de unidades SI*. A palavra coerente é utilizada aqui com o seguinte sentido: quando se utilizam unidades coerentes, as equações que relacionam os valores numéricos das grandezas tomam exatamente a mesma forma que as equações que relacionam as respectivas grandezas. Então, se são utilizadas somente unidades de um conjunto coerente, nunca haverá necessidade de fatores de conversão entre as unidades.

A expressão da unidade coerente de uma grandeza derivada pode ser obtida a partir do produto dimensional dessa grandeza substituindo-se o símbolo de cada dimensão pelo símbolo da unidade de base correspondente.

Algumas unidades derivadas coerentes do SI recebem nomes especiais, para simplificar sua expressão (ver 2.2.2, pág. 29). É importante enfatizar que cada grandeza física possui apenas uma unidade SI coerente, mesmo que essa unidade possa ser expressa em diferentes formas usando alguns nomes especiais e símbolos. A recíproca, entretanto, não é verdadeira: em alguns casos, a mesma unidade SI pode ser usada para expressar os valores de várias grandezas diferentes. (ver pág. 30).

Por exemplo, a combinação particular das unidades de base $\text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$ para energia recebeu o nome especial joule, símbolo J. Por definição $J = \text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$.

A CGPM adicionalmente adotou uma série de prefixos para a formação de múltiplos e submúltiplos decimais das unidades SI coerentes (ver 3.1, pág. 34, onde se encontra a lista dos nomes dos prefixos e seus símbolos). Esses prefixos são convenientes para expressar valores de grandezas muito maiores ou muito menores que a unidade coerente. De acordo com a recomendação 1 (1969) do CIPM (ver pág. 67), esses prefixos são designados pelo nome de *Prefixos SI*. (Esses prefixos são também, às vezes, utilizados com unidades fora do SI, conforme descrito no capítulo 4). Todavia, quando os prefixos são utilizados com unidades do SI, as unidades derivadas resultantes não são mais coerentes, pois um prefixo introduz um fator numérico diferente de 1 na expressão da unidade derivada em termos das unidades de base.

O comprimento de uma ligação química é, em geral, expresso em nanômetros, nm, ao invés de metros, m; e a distância entre Londres e Paris é, geralmente, expressa em quilômetros, km, ao invés de metros, m.

Como exceção à regra, o nome do quilograma, que é a unidade de base de massa, compreende o prefixo kilo, por razões históricas. No entanto, ele é

considerado como unidade de base do SI. Os múltiplos e submúltiplos do quilograma são formados adicionando-se os nomes dos prefixos ao nome da unidade “grama” e dos símbolos dos prefixos ao símbolo da unidade “g” (ver 3.2, pág.35). Assim, 10^{-6} kg se escreve um miligrama, mg, e não microquilograma, μ kg.

O conjunto completo das unidades SI compreende o conjunto das unidades coerentes e os múltiplos e submúltiplos dessas unidades, formadas pela combinação das unidades com os prefixos SI. Ele é designado pelo nome de conjunto completo de *unidades SI*, ou simplesmente *unidades SI*, ou *unidades do SI*. Note, entretanto, que os múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI não formam um conjunto coerente.

O metro por segundo, símbolo m/s, é a unidade SI coerente de velocidade. O quilometro por segundo, km/s, o centímetro por segundo, cm/s, e o milímetro por segundo, mm/s, são também unidades SI, mas não são unidades SI coerentes.

1.5 As Unidades SI no quadro da relatividade geral

As definições das unidades de base do SI foram adotadas num contexto que não considera os efeitos relativísticos. Quando se introduz tal noção, fica claro que essas definições se aplicam somente num pequeno domínio espacial compartilhando os movimentos dos padrões. Estas unidades de base do SI são conhecidas como *unidades próprias*; suas realizações provêm de experiências locais, nas quais os efeitos relativísticos a serem considerados são aqueles da relatividade restrita. As constantes da física são grandezas locais, cujos valores são expressos em unidades próprias.

As realizações físicas da definição de uma unidade são, em geral, comparadas localmente. Todavia, para os padrões de frequência, é possível realizar tais comparações à distância, por meio de sinais eletromagnéticos. Para interpretar os resultados é necessário apelar para a teoria da relatividade geral, pois esta prevê, entre outras coisas, um desvio de frequência entre os padrões de aproximadamente 1×10^{-16} , em valor relativo, por metro de altitude da superfície da Terra. Efeitos dessa ordem de grandeza não podem ser desprezados na comparação dos melhores padrões de frequência.

A questão das unidades próprias é tratada na Resolução A4, adotada pela XXI Assembleia Geral da União Astronômica Internacional (UAI), em 1991, e no relatório do Grupo de Trabalho do CCDS sobre aplicação da Relatividade Geral na Metrologia (*Metrologia*, 1997, **34**, 261/290).

1.6 Unidades de grandeza que descrevem efeitos biológicos

Frequentemente as unidades das grandezas que descrevem os efeitos biológicos são difíceis de serem relacionadas às unidades do SI porque elas, em geral, incluem fatores de ponderação que podem ser desconhecidos ou que não podem ser definidos com exatidão e que, às vezes, podem depender da energia e da frequência. Essas unidades não são unidades do SI e são descritas sucintamente nesta seção.

As radiações ópticas podem produzir modificações químicas em materiais vivos ou inertes. Esta propriedade é chamada de *actinismo* e as radiações capazes de causar tais variações são conhecidas pelo nome de *radiações actínicas*. Os resultados das medições de algumas grandezas fotoquímicas ou fotobiológicas podem ser expressos em unidades do SI. Esta questão é discutida, brevemente, no anexo 3 desta publicação.

O som causa pequenas flutuações de pressão no ar, que se somam à pressão atmosférica normal, e que são percebidas pelo ouvido humano. A sensibilidade do ouvido depende da frequência sonora, mas não é uma função simples da amplitude das variações de pressão e de frequência. Em consequência, as grandezas ponderadas em função de frequência são utilizadas na acústica para fornecer uma representação aproximada da forma como o som é percebido. Essas grandezas

são empregadas, por exemplo, em estudos sobre proteção contra danos auditivos. Os efeitos das ondas acústicas ultrassônicas são fontes de preocupações semelhantes no diagnóstico médico e no campo terapêutico.

As radiações ionizantes depositam energia na matéria irradiada. A razão entre a energia depositada e a massa é denominada *dose absorvida*. Doses elevadas de radiação ionizante matam as células. Isto é usado na radioterapia e funções de ponderação biológicas são utilizadas para comparar os efeitos terapêuticos de diferentes tratamentos. Doses baixas, não letais, podem causar danos aos organismos vivos, como, por exemplo, induzir um câncer; assim, os regulamentos relativos à radioproteção se baseiam em funções apropriadas de ponderação dos riscos para doses baixas.

Existe uma classe de unidades que serve para quantificar a atividade biológica de determinadas substâncias utilizadas em diagnóstico médico e em terapia que ainda não podem ser definidas em função das unidades do SI. Com efeito, o mecanismo do efeito biológico específico que fornece a essas substâncias o seu uso médico não é ainda suficientemente bem compreendido para ser quantificado em função de parâmetros físico-químicos. Considerando sua importância para a saúde humana e para a segurança, a Organização Mundial de Saúde (OMS) assumiu a responsabilidade pela definição das unidades internacionais OMS para a atividade biológica dessas substâncias.

1.7 Legislação sobre as unidades

Os países estabelecem, por via legislativa, as regras concernentes à utilização das unidades tanto no plano nacional para uso geral como para campos específicos, como o comércio, a saúde, a segurança pública ou o ensino. Na maioria dos países a legislação se baseia no emprego do Sistema Internacional de Unidades.

A Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML), criada em 1955, cuida da harmonização internacional dessa legislação.

1.8 Nota histórica

Os parágrafos anteriores deste capítulo apresentam, de maneira geral, como se estabelece um sistema de unidades e, em particular, o Sistema Internacional de Unidades. Esta nota descreve resumidamente a evolução histórica do Sistema Internacional.

A 9ª CGPM (1948, Resolução 6; CR, 64), encarregou o CIPM de:

- estudar o estabelecimento de um regulamento completo para as unidades de medida;
- realizar, com esse intuito, uma pesquisa oficial sobre a opinião dos meios científicos, técnicos e pedagógicos de todos os países;
- emitir recomendações referentes ao estabelecimento de um *sistema prático de unidades de medida*, que possa ser adotado por todos os países signatários da Convenção do Metro.

Essa mesma CGPM também estabeleceu a Resolução 7 (CR, 70), que fixa os princípios gerais para a grafia dos símbolos das unidades e fornece uma lista de algumas unidades coerentes às quais foram atribuídos nomes especiais.

A 10ª CGPM (1954, Resolução 6; CR,80) e a 14ª CGPM (1971, Resolução 3, CR,78 e *Metrologia*, 1972, **8**, 36) adotaram como unidades de base deste sistema prático de unidades as unidades das sete grandezas seguintes: comprimento, massa, tempo, corrente elétrica, temperatura termodinâmica, quantidade de substância e intensidade luminosa.

A 11ª CGPM (1960, Resolução 12; CR, 87), adotou o nome *Sistema Internacional de Unidades*, com abreviação internacional SI, para este sistema prático de unidades de medida, e instituiu as regras para os prefixos, as unidades derivadas e as unidades suplementares (posteriormente abolidas) e outros assuntos. Estabeleceu, assim, uma regulamentação abrangente para as unidades de medida. Reuniões posteriores da CGPM e do CIPM modificaram e estabeleceram aditivos à estrutura original do SI, conforme as necessidades, para levar em consideração os avanços da ciência e as necessidades dos usuários.

As principais etapas históricas que levam a estas importantes decisões da CGPM podem ser resumidas como apresentadas a seguir:

- A criação do Sistema Métrico Decimal na época da Revolução Francesa e o posterior depósito de dois padrões de platina, representando o metro e o quilograma, em 22 de junho de 1799, nos Arquivos da República, em Paris, podem ser considerados como a primeira etapa do desenvolvimento do atual Sistema Internacional de Unidades.
- Em 1832, Gauss trabalhava ativamente em prol da aplicação do Sistema Métrico, associado ao segundo, definido em astronomia, como um sistema coerente de unidades para as ciências físicas. Gauss foi o primeiro a realizar medições *absolutas* do campo magnético terrestre, utilizando um sistema decimal baseado em três *unidades mecânicas*: milímetro, grama e segundo para as grandezas comprimento, massa e tempo, respectivamente. Anos depois, Gauss e Weber estenderam essas medições para incluir outros fenômenos elétricos.
- Por volta de 1860, Maxwell e Thomson estenderam essas medidas de forma mais completa no campo da eletricidade e do magnetismo junto à *British Association for the Advancement of Science* (BAAS). Eles formularam as regras de formação de um *sistema coerente de unidades* composto de unidades de *base* e de unidades *derivadas*. Em 1874, a BAAS introduziu o *sistema CGS*, um sistema de unidades coerente com três dimensões, baseado em três unidades mecânicas: centímetro, grama e segundo, e que utilizava os prefixos que iam do micro ao mega para expressar os submúltiplos e múltiplos decimais. O progresso da física como ciência experimental é devido em grande parte à utilização desse sistema.
- O tamanho das unidades CGS coerentes nos campos da eletricidade e do magnetismo se mostrou inadequado, de modo que, por volta de 1880, a BAAS e o Congresso Internacional de Eletricidade, antecessor da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), aprovaram um sistema mutuamente coerente de *unidades práticas*. Dentre elas, figuravam o ohm para a resistência elétrica, o volt para a força eletromotriz e o ampere para a corrente elétrica.
- Após a assinatura da Convenção do Metro, em 20 de maio de 1875, que criou o BIPM e estabeleceu o CIPM e a CGPM, começou o trabalho de construção de novos protótipos internacionais do metro e do quilograma, aprovados pela primeira CGPM em 1889. Junto com o segundo, dos astrônomos, como unidade de tempo, essas unidades constituíram um sistema de unidades mecânicas com três dimensões, similar ao CGS, cujas unidades de base eram o metro, o quilograma e o segundo, o sistema MKS.

- Em 1901, Giorgi demonstrou que era possível associar as unidades mecânicas desse sistema, metro-kilograma-segundo, ao sistema prático de unidades elétricas, para formar um único sistema coerente com quatro dimensões, juntando a essas três unidades de base uma quarta unidade, de natureza elétrica, tal como o ampere ou o ohm, e ainda racionalizando as equações utilizadas no eletromagnetismo. A proposta de Giorgi abriu caminho para outras extensões.
- Após a revisão da Convenção do Metro pela 6ª CGPM, em 1921, que estendeu as atribuições e as responsabilidades do BIPM a outros domínios da física, e a criação do CCE pela 7ª CGPM, em 1927, a proposta de Giorgi foi discutida detalhadamente pela IEC, a IUPAP e outros organismos internacionais. Essas discussões levaram o CCE a propor, em 1939, a adoção de um sistema com quatro dimensões baseado no metro, quilograma, segundo e ampere (sistema MKSA). A proposta foi aprovada pelo CIPM, em 1946.
- Como resultado de uma consulta internacional realizada pelo BIPM, a partir de 1948, a 10ª CGPM, em 1954, aprovou a introdução do *ampere*, do *kelvin* e da *candela* como unidades de base para *corrente elétrica*, *temperatura termodinâmica* e *intensidade luminosa*, respectivamente. Em 1960, a 11ª CGPM denominou esse sistema como *Sistema Internacional de Unidades (SI)*. Na 14ª CGPM, em 1971, após longas discussões entre físicos e químicos para encontrar uma definição que satisfizesse as duas comunidades, o *mol* foi incorporado ao SI como unidade de base para quantidade de substância, sendo a sétima das unidades de base do SI, tal como conhecemos hoje.

2 Unidades SI

2.1 Unidades de base do SI

As definições oficiais de todas as unidades de base do SI foram aprovadas pela CGPM. As duas primeiras definições foram aprovadas em 1889 e a mais recente em 1983. Estas definições são modificadas periodicamente a fim de acompanhar a evolução da ciência.

2.1.1 Definições

As definições atuais de cada unidade de base, extraídas dos *Comptes Rendus* (CR) das respectivas CGPM em que foram aprovadas, aparecem no texto em fonte sem serifa em negrito. As decisões de caráter explicativo que não integram as definições, extraídas dos *Comptes Rendus* da respectiva CGPM ou dos *Procès-Verbaux* (PV) dos CIPM, também estão no texto em fonte sem serifa normal. O texto explicativo fornece notas históricas e esclarecimentos, mas não é parte das definições.

É importante se fazer a distinção entre a definição de uma unidade e a realização prática dessa definição. A definição de cada unidade de base do SI é redigida cuidadosamente, de maneira que ela seja única e que forneça um fundamento teórico sólido que permita realizar medições mais exatas e mais reprodutivas. A realização da definição de uma unidade é o procedimento segundo o qual a definição da unidade pode ser utilizada a fim de estabelecer o valor e a incerteza associada de uma grandeza de mesmo tipo que a unidade. Uma descrição da maneira como as definições de algumas unidades importantes são realizadas na prática é dada na página da internet do BIPM, nos seguintes endereços: www.bipm.org/en/si/si_brochure/ (em inglês) ou www.bipm.org/fr/si/si_brochure/ (em francês).

As unidades SI derivadas coerentes são definidas de maneira unívoca somente em função das unidades de base do SI. Por exemplo, a unidade coerente derivada SI de resistência, o ohm, símbolo Ω , é definida univocamente pela relação $\Omega = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3} \text{A}^{-2}$, que resulta da definição da grandeza resistência elétrica. Todavia, é possível se utilizar qualquer método consistente com as leis da física para realizar qualquer unidade SI. Por exemplo, a unidade ohm pode ser realizada com uma exatidão elevada por meio do efeito Hall quântico e do valor da constante de von Klitzing, recomendado pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas (ver págs. 75 e 78 do anexo 1).

Finalmente, é necessário reconhecer-se que mesmo sendo as sete grandezas de base – comprimento, massa, tempo, corrente elétrica, temperatura termodinâmica, quantidade de substância e intensidade luminosa – consideradas como independentes por convenção, as unidades de base – metro, quilograma, segundo, ampere, kelvin, mol e candela – não o são. Assim, a definição do metro incorpora o segundo; a definição do ampere incorpora o metro, o quilograma e o segundo; a definição do mol incorpora o quilograma; e a definição da candela incorpora o metro, o quilograma e o segundo.

2.1.1.1 Unidade de comprimento (metro)

A definição do metro, dada em 1889, baseada no protótipo internacional de liga metálica de platina-irídio, foi substituída na 11ª CGPM (1960) por outra definição baseada no comprimento de onda de uma radiação do criptônio 86. Esta mudança teve a finalidade de aumentar a exatidão da realização da definição do metro, realização esta conseguida com um interferômetro e um microscópio deslizante para medir a diferença do caminho óptico à medida que as franjas eram contadas. Por sua vez, esta definição foi substituída em 1983 pela 17ª CGPM (1983, Resolução 1; CR 97 e *Metrologia*, 1984, **20**, 25) pela definição atual seguinte:

O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de 1/299 792 458 de segundo.

Essa definição tem o efeito de fixar a velocidade da luz no vácuo em 299 792 458 metros por segundo exatamente, $c_0 = 299\,792\,458$ m/s .

O símbolo c_0 (ou, às vezes, apenas c) é o símbolo convencional da velocidade da luz no vácuo.

O protótipo internacional original do metro, que foi sancionado pela 1ª CGPM em 1889 (CR, 34-38), ainda é conservado no BIPM nas mesmas condições que foram especificadas em 1889.

2.1.1.2 - Unidade de massa (quilograma)

O protótipo internacional do quilograma, um artefato feito especialmente de liga metálica de platina-irídio, é conservado no BIPM nas condições especificadas pela 1ª CGPM em 1889 (CR, 34-38) que sancionou o protótipo e declarou:

Este protótipo será considerado doravante como a unidade de massa.

A 3ª CGPM (1901; CR,70), numa declaração para acabar com a ambiguidade existente no uso corrente da palavra “peso”, confirmou que:

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

A declaração completa é apresentada na pág. 55.

Conclui-se que a massa do protótipo internacional é sempre igual a 1 quilograma exatamente, $m(\mathcal{K}) = 1$ kg. Entretanto, em virtude do acúmulo inevitável de contaminantes nas superfícies, o protótipo internacional sofre uma contaminação reversível da superfície de, aproximadamente, 1 μg em massa, por ano. Por isso, o CIPM declarou que, até futuras pesquisas, a massa de referência do protótipo internacional é aquela que se segue imediatamente à lavagem e limpeza segundo um método específico (PV, 1989, **57**, 104-105 e PV, 1990, **58**, 95-97). A massa de referência é, então, definida e utilizada para calibrar os padrões nacionais de platina e irídio (*Metrologia*, 1994, **31**, 317-336).

O símbolo $m(\mathcal{K})$ é usado para representar a massa do protótipo internacional do quilograma, $\mathcal{K}$.

2.1.1.3 Unidade de tempo (segundo)

A unidade de tempo, o segundo, foi originalmente definida como a fração 1/86 400 do dia solar médio. A definição exata do “dia solar médio” foi deixada aos cuidados dos astrônomos. Porém as medições mostraram que as irregularidades na rotação da Terra tornaram esta definição insatisfatória. Para conferir maior exatidão à definição da unidade de tempo, a 11ª CGPM (1960, Resolução 9; CR 86) adotou uma definição fornecida pela União Astronômica Internacional com

base no ano tropical 1900. No entanto, a pesquisa experimental já tinha demonstrado que um padrão atômico de intervalo de tempo, baseado numa transição entre dois níveis de energia de um átomo, ou de uma molécula, poderia ser realizado e reproduzido com exatidão muito superior. Considerando que uma definição de alta exatidão para a unidade de tempo do Sistema Internacional é indispensável para a ciência e a tecnologia, a 13ª CGPM (1967/68, Resolução 1; CR 103 e *Metrologia*, 1968, 4, 43) substituiu a definição do segundo pela seguinte:

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.

Conclui-se que a frequência de transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio 133 é exatamente igual a 9 192 631 770 hertz, $\nu(\text{hfs Cs}) = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$.

Na sessão de 1997, o CIPM confirmou que:

Essa definição se refere a um átomo de césio em repouso, a uma temperatura de 0 K.

O símbolo $\nu(\text{hfs Cs})$ é utilizado para designar a frequência de transição hiperfina do átomo de césio no estado fundamental.

Essa nota tinha por objetivo esclarecer que a definição do segundo do SI está baseada num átomo de césio sem perturbação pela radiação de corpo negro, isto é, num meio mantido a uma temperatura termodinâmica de 0 K. As frequências de todos os padrões primários de frequência devem, então, ser corrigidas para levar em consideração a mudança devido à radiação ambiente, como estabelecido na reunião do Comitê Consultivo para Tempo e Frequência, em 1999.

2.1.1.4 Unidade de corrente elétrica (ampere)

As unidades elétricas, ditas “internacionais”, para a corrente e para a resistência, foram introduzidas pelo Congresso Internacional de Eletricidade, realizado em Chicago em 1893 e as definições do ampere “internacional” e do ohm “internacional” foram confirmadas pela Conferência Internacional de Londres em 1908.

Embora, por ocasião da 8ª CGPM (1933), já fosse evidente o desejo unânime no sentido de substituir estas “unidades internacionais” pelas chamadas “unidades absolutas”, a decisão oficial de suprimir estas unidades “internacionais” foi tomada somente pela 9ª CGPM (1948), que adotou o ampere como a unidade de corrente elétrica, seguindo a definição proposta pelo CIPM (1946, Resolução 2; PV, 20 129-137):

O ampere é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, se mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produz entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento.

Disto resulta que a constante magnética μ_0 , também conhecida como a permeabilidade do vácuo, é exatamente igual a $4\pi \times 10^{-7}\text{ H/m}$.

A expressão “unidade de força MKS”, que figura no texto original de 1946 foi aqui substituída por “newton”, o nome adotado para esta unidade pela 9ª CGPM (1948, Resolução 7; CR, 70).

2.1.1.5 Unidade de temperatura termodinâmica (kelvin)

A definição da unidade de temperatura termodinâmica foi dada pela 10ª CGPM (1954, Resolução 3; CR, 79), que escolheu o ponto triplo da água

como ponto fixo fundamental, atribuindo-lhe a temperatura de 273,16 K por definição. A 13ª CGPM (1967/68, Resolução 3; CR, 104 e *Metrologia*, 1968, 4, 43) adotou o nome kelvin, símbolo K, ao invés de “grau kelvin”, símbolo °K, e definiu a unidade de temperatura termodinâmica como se segue (1967/68, Resolução 4; CR, 104 e *Metrologia*, 1968, 4, 43):

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

Disto resulta que a temperatura termodinâmica do ponto triplo da água é exatamente 273,16 kelvins, $T_{\text{tpw}} = 273,16 \text{ K}$.

Em sua reunião em 2005 o CIPM afirmou que:

Essa definição se refere à água com a composição isotópica definida exatamente pelas relações das seguintes quantidades de substância: 0,000 155 76 mol de ^2H por mol de ^1H , 0,000 379 9 mol de ^{17}O por mol de ^{16}O e 0,002 005 2 mol de ^{18}O por mol de ^{16}O .

O símbolo T_{tpw} é usado para representar a temperatura termodinâmica do ponto triplo da água.

Em virtude da maneira como as escalas de temperatura costumam ser definidas, permanece a prática habitual de exprimir a temperatura termodinâmica, símbolo T , em função de sua diferença em relação à temperatura de referência $T_0 = 273,15 \text{ K}$, o ponto de solidificação da água. Essa diferença de temperatura é chamada de temperatura Celsius, símbolo t , que é definida pela equação entre as grandezas:

$$t = T - T_0.$$

A unidade de temperatura Celsius é o grau Celsius, símbolo °C, igual à unidade kelvin, por definição. Um intervalo ou uma diferença de temperatura pode ser expresso tanto em kelvins quanto em graus Celsius (13ª CGPM, 1967/68, Resolução 3, mencionada acima), o valor numérico da diferença de temperatura é o mesmo. Contudo, o valor numérico de uma temperatura Celsius expressa em graus Celsius está relacionado ao valor numérico da temperatura termodinâmica expresso em kelvins pela relação:

$$t / ^\circ\text{C} = T / \text{K} - 273,15.$$

O kelvin e o grau Celsius também são as unidades da Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90) adotada pelo CIPM 1989 em sua Recomendação 5 (CI-1989; PV, 57, 26 (fr) ou 115 (in) e *Metrologia*, 1990, 27, 13).

2.1.1.6 Unidade de quantidade de substância (mol)

Desde a descoberta das leis fundamentais da química foram utilizadas unidades denominadas, por exemplo, “átomo-grama” e “molécula-grama”, para especificar as quantidades dos diversos elementos e compostos químicos. Estas unidades estavam relacionadas diretamente aos “pesos atômicos” ou aos “pesos moleculares” que são na realidade massas relativas. Originalmente os “pesos atômicos” eram referidos ao peso atômico do oxigênio, que por convenção é igual a 16. Porém, enquanto os físicos separavam os isótopos no espectrômetro de massa e atribuíam o valor 16 a um dos isótopos do oxigênio, os químicos atribuíam o mesmo valor à mistura (levemente variável) dos isótopos 16, 17 e 18

que era, para eles, o elemento oxigênio existente naturalmente. Um acordo entre a União Internacional de Física Pura e Aplicada (IUPAP) e a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) resolveu esta dualidade em 1959-1960. Desde esta época, físicos e químicos concordaram em atribuir o valor 12, exatamente, ao “peso atômico” do isótopo de carbono com número de massa 12 (carbono 12, ^{12}C), corretamente chamada de massa atômica relativa $A_r(^{12}\text{C})$. A escala unificada assim obtida dá os valores das massas atômicas e moleculares relativas, também conhecidas respectivamente como pesos atômicos e pesos moleculares.

A grandeza usada pelos químicos para especificar a quantidade de elementos químicos ou compostos é atualmente chamada “quantidade de substância”. A quantidade de substância é definida como sendo proporcional ao número de entidades elementares de uma amostra, a constante de proporcionalidade sendo uma constante universal idêntica para todas as amostras. A unidade de quantidade de substância é denominada mol, símbolo mol, e o mol é definido fixando-se a massa de carbono 12 que constituiu um mol de átomos de carbono 12. Por acordo internacional, esta massa foi fixada em 0,012 kg, isto é, 12 g.

Adotando a proposta da IUPAP, da IUPAC e da ISO, o CIPM deu uma definição do mol em 1967 e confirmou-a em 1969. A seguinte definição do mol foi adotada pela 14ª CGPM (1971, Resolução 3; CR, 78 e *Metrologia*, 1972, 8, 36):

1. O mol é a quantidade de substância de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 quilograma de carbono 12; seu símbolo é “mol”.

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 de tais partículas.

Conclui-se que a massa molar de carbono 12 é exatamente igual a 12 gramas por mol, exatamente, $M(^{12}\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$.

Em 1980, o CIPM aprovou o relatório do CCU (1980), que especificava:

Nesta definição, entende-se que se faz referência aos átomos não ligados de carbono 12, em repouso e no seu estado fundamental.

A definição do mol permite também determinar o valor da constante universal que relaciona o número de entidades à quantidade de substância de uma amostra. Esta constante é chamada de constante de Avogadro, símbolo N_A ou L . Se $N(X)$ designa o número de entidades X de uma determinada amostra, e se $n(X)$ designa a quantidade de substância de entidades X na mesma amostra, obtém-se a relação:

$$n(X) = N(X)/N_A.$$

Observe-se que como $N(X)$ é adimensional, e como $n(X)$ é expresso pela unidade SI mol, a constante de Avogadro tem por unidade SI o mol elevado a potência menos um.

No nome “quantidade de substância” as palavras “de substância” podem ser simplesmente substituídas por outras palavras que signifiquem a substância considerada em qualquer aplicação particular, de modo que, por exemplo, se pode falar de “quantidade de cloreto de hidrogênio, HCl” ou de “quantidade de benzeno, C_6H_6 ”. É importante dar sempre uma especificação exata da entidade em questão (conforme a segunda frase da definição do mol), de preferência dando a fórmula química empírica do material referido. Ainda que a palavra “quantidade” tenha uma definição mais geral no dicionário, essa abreviação do nome completo “quantidade de substância” pode ser utilizada por simplificação. Isso se aplica também para as grandezas derivadas, tais como a “concentração de quantidade de substância”, que pode ser abreviada para “concentração de quantidade”. Todavia, no campo da química clínica, o nome “concentração de quantidade de substância” é geralmente abreviado para “concentração de substância”

O símbolo recomendado para a massa atômica relativa (peso atômico) é $A_r(X)$, onde é necessário especificar a entidade atômica X e o símbolo recomendado para a massa molecular relativa (peso molecular) é $M_r(X)$, onde é necessário especificar a entidade molecular X.

A massa molar de um átomo ou de uma molécula X é designada por $M(X)$ ou M_X e é a massa por mol de X.

Quando se cita a definição do mol, é convencional adicionar, também, essa observação.

2.1.1.7 Unidade de intensidade luminosa (candela)

As unidades de intensidade luminosa baseadas em padrões de chama ou filamento incandescente, que eram usadas em diversos países, antes de 1948, foram substituídas primeiramente pela “vela nova”, que se baseava na luminância de um radiador de Planck (corpo negro) à temperatura de solidificação da platina. Esta modificação foi preparada pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) e pelo CIPM antes de 1937, e a decisão foi promulgada pelo CIPM em 1946. Ela foi ratificada em 1948 pela 9ª CGPM, que adotou para esta unidade um novo nome internacional, a *candela*, símbolo cd; em 1967, a 13ª CGPM (Resolução 5; CR, 104 e *Metrologia* 1968, **4**, 43 - 44) modificou a definição de 1946.

Em 1979, em virtude das dificuldades experimentais para a realização do radiador de Planck em temperaturas elevadas, e das novas possibilidades oferecidas pela radiometria, isto é, a medição de potência de radiação óptica, a 16ª CGPM (1979, Resolução 3; CR, 100 e *Metrologia*, 1980, **16**, 56) adotou uma nova definição da candela:

A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e que tem uma intensidade radiante nessa direção de 1/683 watt por esferorradiano.

Conclui-se que a eficácia luminosa espectral de uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz é exatamente igual a 683 lúmens por watt, $K = 683 \text{ lm/W} = 683 \text{ cd sr/W}$.

2.1.2 Símbolos das sete unidades de base

As unidades de base do Sistema Internacional estão reunidas na tabela 1, que relaciona as grandezas de base aos nomes e símbolos das sete unidades de base (10ª CGPM (1954, Resolução 6; CR, 80); 11ª CGPM (1960, Resolução 12; CR, 87); 13ª CGPM (1967/68, Resolução 3; CR, 104 e *Metrologia*, 1968, **4**, 43); 14ª CGPM (1971, Resolução 3; CR, 78 e *Metrologia*, 1972, **8**, 36)).

Os símbolos indicados para as grandezas são geralmente letras simples dos alfabetos grego ou latino, em itálico, e são recomendações. Os símbolos indicados para as unidades são obrigatórios (ver capítulo 5).

Tabela 1 - Unidades de Base do SI

Grandeza de base		Unidade de base do SI	
Nome	Símbolo	Nome	Símbolo
comprimento	<i>l, x, r, etc.</i>	metro	m
massa	<i>m</i>	kilograma	kg
tempo, duração	<i>t</i>	segundo	s
corrente elétrica	<i>I, i</i>	ampere	A
temperatura termodinâmica	<i>T</i>	kelvin	K
quantidade de substância	<i>n</i>	mol	mol
intensidade luminosa	<i>I_v</i>	candela	cd

2.2 Unidades SI derivadas

As unidades derivadas são formadas pelo produto de potências das unidades de base. As unidades derivadas coerentes são produtos de potências das unidades de base que não incluem fator numérico diferente de 1. As unidades de base e as unidades derivadas coerentes do SI formam um conjunto coerente, designado pelo nome conjunto de *unidades coerentes do SI* (ver 1.4, pág. 18)

2.2.1 Unidades derivadas expressas a partir das unidades de base

O número de grandezas na ciência é ilimitado e não é possível criar uma lista completa de grandezas derivadas e de unidades derivadas. Contudo, a tabela 2 fornece alguns exemplos de grandezas derivadas, com as correspondentes unidades derivadas coerentes expressas diretamente a partir das unidades de base.

Tabela 2 - Exemplos de unidades SI derivadas coerentes, expressas a partir das unidades de base

Grandeza derivada		Unidade derivada coerente do SI	
Nome	Símbolo	Nome	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	$\sigma, \tilde{\nu}$	metro elevado à potência menos um	m^{-1}
densidade, massa específica	ρ	kilograma por metro cúbico	kg/m^3
densidade superficial	ρ_A	kilograma por metro quadrado	kg/m^2
volume específico	ν	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
de quantidade de substância ^(a)			
concentração mássica	ρ, γ	kilograma por metro cúbico	kg/m^3
luminância	L_v	candela por metro quadrado	cd/m^2
índice de refração ^(b)	n	um	1
permeabilidade relativa ^(b)	μ_r	um	1

(a) No campo de química clínica, essa grandeza é também chamada de concentração de substância.

(b) Estas são grandezas adimensionais, ou grandezas de dimensão um. O símbolo “1” para a unidade (o número “1”) é geralmente omitido quando se determina o valor das grandezas sem dimensão.

2.2.2 Unidades com nomes e símbolos especiais; unidades que incorporam nomes e símbolos especiais

Por questões de conveniência, certas unidades derivadas coerentes receberam nomes e símbolos especiais. Na tabela 3 estão listadas 22 dessas unidades. Esses nomes e símbolos especiais podem ser usados em combinação com nomes e símbolos de unidades de base e de outras unidades derivadas para expressar unidades de outras grandezas derivadas. Alguns exemplos figuram na tabela 4.

Os nomes e os símbolos especiais são simplesmente uma forma compacta para expressar as combinações das unidades de base mais frequentemente utilizadas; porém, em muitos casos, elas também servem para lembrar ao leitor a grandeza envolvida. Os prefixos SI podem ser usados com quaisquer dos nomes e símbolos especiais, mas, quando isto ocorre, a unidade resultante pode não ser uma unidade coerente.

Os quatro últimos nomes e símbolos que figuram no final da tabela 3 são unidades especiais porque foram adotados pela 15ª CGPM (1975, Resoluções 8 e 9; CR, 105 e *Metrologia*, 1975, **11**, 180); pela 16ª CGPM (1979, Resoluções 5; CR, 100 e *Metrologia*, 1980, **16**, 56) e pela 21ª CGPM (1999, Resolução 12; CR, 145 (fr) ou 334-335 (in) e *Metrologia* 2000, **37**, 95) visando especificamente a proteção da saúde humana.

A última coluna das tabelas 3 e 4 mostra a expressão das unidades SI consideradas em função das unidades de base do SI. Nesta coluna, fatores tais como m^0 , kg^0 , etc., que são iguais a 1, não são mostrados explicitamente.

Tabela 3 - Unidades SI derivadas coerentes possuidoras de nomes e símbolos especiais

Grandeza derivada	Unidade SI derivada coerente ^(a)			
	Nome	Símbolo	Expressão utilizando outras unidades do SI	Expressão em unidades de base do SI
ângulo plano	radiano ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
ângulo sólido	esferorradiano ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
frequência	hertz ^(d)	Hz		s ⁻¹
força	newton	N		m kg s ⁻²
pressão, tensão	pascal	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	N m	m ² kg s ⁻²
potência, fluxo radiante	watt	W	J/s	m ² kg s ⁻³
carga elétrica, quantidade de eletricidade	coulomb	C		s A
diferença de potencial elétrico, força eletromotriz	volt	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
capacitância	farad	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
resistência elétrica	ohm	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
condutância elétrica	siemens	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
fluxo magnético	weber	Wb	V s	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
densidade de fluxo magnético	tesla	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
indutância	henry	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
temperatura Celsius	grau Celsius ^(e)	°C		K
fluxo luminoso	lúmen	lm	cd sr ^(c)	cd
iluminância	lux	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
atividade (de um radionuclídeo) ^(f)	becquerel	Bq		s ⁻¹
dose absorvida, energia específica (cedida), kerma	gray	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
equivalente de dose, equivalente de dose ambiente, equivalente de dose direcional, equivalente de dose individual,	sievert ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
atividade catalítica	katal	kat		s ⁻¹ mol

(a) Os prefixos SI podem ser utilizados com quaisquer nomes e símbolos especiais, porém, nesses casos a unidade resultante não é mais uma unidade coerente.

(b) O radiano e o esferorradiano são nomes especiais para o número um que podem ser utilizados para dar informação sobre a grandeza envolvida. Na prática, os símbolos rad e sr são utilizados quando apropriado, porém o símbolo para a unidade derivada "1" é geralmente omitido quando se especificam valores de grandezas adimensionais.

(c) Em fotometria, mantém-se, geralmente, o nome e o símbolo do esferorradiano, sr, na expressão das unidades.

(d) O hertz é utilizado somente para fenômenos periódicos, e o becquerel para processos aleatórios relacionados à medição da atividade de um radionuclídeo.

(e) O grau Celsius é o nome especial para o kelvin utilizado para expressar as temperaturas Celsius. O grau Celsius e o kelvin são iguais em tamanho, de modo que o valor numérico de uma diferença de temperatura ou de um intervalo de temperatura é idêntico quando expresso em graus Celsius ou em kelvins.

(f) A atividade de um radionuclídeo é, às vezes, incorretamente chamada de radioatividade.

(g) Ver a recomendação 2 do CIPM (CI-2002), pág. 81, sobre a utilização do sievert (PV, 2002, 70, 205).

Tabela 4 - Exemplos de unidades SI derivadas coerentes cujos nomes e símbolos incluem unidades derivadas coerentes do SI com nomes e símbolos especiais

Grandeza derivada	Unidade SI derivada coerente		
	Nome	Símbolo	Expressão em unidades de base do SI
viscosidade dinâmica	pascal segundo	Pa s	$\text{m}^{-1} \text{kg s}^{-1}$
momento de uma força	newton metro	N m	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$
tensão superficial	newton por metro	N/m	kg s^{-2}
velocidade angular	radiano por segundo	rad/s	$\text{m m}^{-1} \text{s}^{-1} = \text{s}^{-1}$
aceleração angular	radiano por segundo quadrado	rad/s ²	$\text{m m}^{-1} \text{s}^{-2} = \text{s}^{-2}$
densidade de fluxo térmico, irradiância	watt por metro quadrado	W/m ²	kg s^{-3}
capacidade térmica, entropia	joule por kelvin	J/K	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$
capacidade térmica específica, entropia específica	joule por quilograma kelvin	J/(kg K)	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
energia específica	joule por quilograma	J/kg	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$
condutividade térmica	watt por metro kelvin	W/(m K)	$\text{m kg s}^{-3} \text{K}^{-1}$
densidade de energia	joule por metro cúbico	J/m ³	$\text{m}^{-1} \text{kg s}^{-2}$
campo elétrico	volt por metro	V/m	$\text{m kg s}^{-3} \text{A}^{-1}$
densidade de carga elétrica	coulomb por metro cúbico	C/m ³	$\text{m}^{-3} \text{s A}$
densidade de carga superficial	coulomb por metro quadrado	C/m ²	$\text{m}^{-2} \text{s A}$
indução elétrica, deslocamento elétrico	coulomb por metro quadrado	C/m ²	$\text{m}^{-2} \text{s A}$
permissividade	farad por metro	F/m	$\text{m}^{-3} \text{kg}^{-1} \text{s}^4 \text{A}^2$
permeabilidade	henry por metro	H/m	$\text{m kg s}^{-2} \text{A}^{-2}$
energia molar	joule por mol	J/mol	$\text{m}^{-2} \text{kg s}^{-2} \text{mol}^{-1}$
entropia molar, capacidade térmica molar	joule por mol kelvin	J/(mol K)	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
exposição (raios X e raios γ)	coulomb por quilograma	C/kg	$\text{kg}^{-1} \text{s A}$
taxa de dose absorvida	gray por segundo	Gy/s	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$
intensidade radiante	watt por esferorradiano	W/sr	$\text{m}^4 \text{m}^{-2} \text{kg s}^{-3} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$
radiância	watt por metro quadrado esferorradiano	W/(m ² sr)	$\text{m}^2 \text{m}^{-2} \text{kg s}^{-3} = \text{kg s}^{-3}$
concentração de atividade catalítica	katal por metro cúbico	kat/m ³	$\text{m}^{-3} \text{s}^{-1} \text{mol}$

Os valores de várias grandezas diferentes podem ser expressos empregando-se o mesmo nome e símbolo da unidade SI. Assim, o joule por kelvin é o nome da unidade SI para as grandezas capacidade térmica e entropia. Do mesmo modo, o ampere é o nome da unidade SI para a grandeza de base corrente elétrica como também para a grandeza derivada força magnetomotriz. Portanto, é importante não se usar apenas o nome da unidade para especificar a grandeza. Essa regra se aplica não somente aos textos científicos e técnicos, como também, por exemplo, aos instrumentos de medição (isto é, eles deveriam indicar não somente a unidade, mas também a grandeza medida).

Uma unidade derivada pode ser expressa, frequentemente, de diferentes maneiras combinando nomes de unidades de base e nomes de unidades derivadas que têm nomes especiais. Por exemplo, o joule pode ser formalmente escrito como newton metro ou quilograma metro quadrado por segundo quadrado. Contudo, esta liberdade algébrica é limitada pelas considerações físicas de bom senso; numa determinada situação algumas formas podem ser mais úteis do que outras.

Na prática, a fim de reduzir o risco de confusão entre grandezas diferentes, de mesma dimensão, para exprimir uma unidade emprega-se preferencialmente um nome especial ou uma combinação particular de nomes de unidades, conforme a grandeza considerada. Por exemplo, a grandeza torque pode ser considerada como o resultado do produto vetorial de uma força por uma distância, o que sugere utilizar - se a unidade newton metro; ou ser considerada como energia por ângulo, o que sugere utilizar - se a unidade joule por radiano. A unidade SI de frequência definida como hertz significa a unidade ciclos por segundo; a unidade SI de velocidade angular é definida como radiano por segundo e a unidade SI de atividade é designada becquerel e significa a unidade de contagens por segundo. Embora seja formalmente correto escrever estas três unidades como o inverso do segundo, o uso dos diferentes nomes enfatiza a natureza diferente das grandezas consideradas. O emprego da unidade radiano por segundo para velocidade angular e hertz para frequência também enfatiza que o valor numérico da velocidade angular em radianos por segundo é 2π vezes o valor numérico da frequência correspondente em hertz.

No domínio das radiações ionizantes, emprega-se a unidade SI de atividade, becquerel, em vez do inverso do segundo e as unidades SI de dose absorvida, gray, e de equivalente de dose, sievert, são mais usadas do que o joule por quilograma. Os nomes especiais becquerel, gray e sievert foram, especificamente, introduzidos por motivo de riscos para a saúde humana que poderiam resultar de erros no uso das unidades: segundo elevado à potência menos um e joule por quilograma.

O CIPM, reconhecendo a importância particular das unidades relacionadas à saúde humana, aprovou um texto detalhado sobre o sievert, quando da redação da 5ª edição do original francês desta publicação. Recomendação 1 (CI-1984) adotada pelo CIPM (PV, 1984, **52**, 31 e *Metrologia*, 1985, **21**, 90) e Recomendação 2 (CI-2002) adotada pelo CIPM (PV, 2002, **70**, 205) ver págs. 74 e 81 respectivamente.

2.2.3 Unidades para grandezas adimensionais ou grandezas de dimensão um

Certas grandezas são definidas através da razão entre duas grandezas de mesma natureza sendo, então, adimensionais, ou sua dimensão pode ser expressa pelo número um. A unidade SI coerente de todas as grandezas adimensionais ou grandezas de dimensão um é o número um, uma vez que a razão de duas unidades SI idênticas é a unidade. Os valores dessas grandezas são expressos por números e a unidade “um” não é mostrada explicitamente. São exemplos dessas grandezas o índice de refração, a permeabilidade relativa ou o coeficiente de atrito. Há também algumas grandezas que são definidas como um produto mais complexo de grandezas mais simples de modo que o produto é adimensional. Por exemplo, os “números característicos” como o número de Reynolds $Re = \rho v l / \eta$

onde ρ é a massa específica, η é a viscosidade dinâmica, v é a velocidade e l é o comprimento. Em todos esses casos, a unidade pode ser considerada como sendo o número um, uma unidade derivada adimensional.

Outra classe de grandezas adimensionais são números que servem para indicar uma contagem, como o número de moléculas, a degeneração (número de níveis de energia) e a função de partição em termodinâmica estatística (número de estados térmicos acessíveis). Estas grandezas de contagem são descritas como adimensionais, ou de dimensão um, e se considera que tenham a unidade do SI um, se bem que a unidade das grandezas de contagem possa ser descrita como uma unidade derivada expressa em termos das unidades de base do SI. Para essas grandezas a unidade um pode ser considerada como uma unidade de base adicional.

Entretanto, em certos casos, essa unidade recebe um nome especial, a fim de facilitar a identificação da grandeza referida. Esse é o caso do radiano e do esferorradiano. O radiano e o esferorradiano receberam um nome especial da CGPM para a unidade derivada coerente um, para exprimir os valores do ângulo plano e do ângulo sólido respectivamente, e são apresentados na tabela 3.

3 Múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI

3.1 Prefixos do SI

A 11ª CGPM (1960, Resolução 12; CR, 87) adotou uma série de nomes de prefixos e símbolos de prefixos para formar os nomes e símbolos dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI variando de 10^{12} a 10^{-12} . Os prefixos para 10^{15} e 10^{18} foram adicionados pela 12ª CGPM (1964, Resolução 8; CR, 94), os prefixos para 10^{15} e 10^{18} pela 15ª CGPM (1975, Resolução 10; CR 106 e *Metrologia*, 1975, **11**, 180-181) e os prefixos para 10^{21} , 10^{24} , 10^{-21} , 10^{-24} pela 19ª CGPM (1991, Resolução 4; CR; 97 e *Metrologia*, 1992, **29**, 3). Os prefixos e símbolos de prefixos adotados aparecem na tabela 5.

Tabela 5 - Prefixos do SI

Fator	Nome do Prefixo	Símbolo	Fator	Nome do Prefixo	Símbolo
10^1	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^2	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^3	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^6	mega	M	10^{-6}	micro	μ
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

Os símbolos dos prefixos são impressos em tipo romano (vertical), do mesmo modo que os símbolos das unidades, independentemente do tipo usado no texto, e estão ligados aos símbolos das unidades sem espaço entre o símbolo do prefixo e o símbolo da unidade. Com exceção dos prefixos da (deca), h (hecto) e k (kilo), todos os símbolos dos prefixos dos múltiplos são escritos com letra maiúscula e todos os símbolos dos submúltiplos são escritos com letra minúscula. Todos os nomes de prefixos são escritos com letra minúscula, exceto no início de uma frase.

O grupo formado por um símbolo de prefixo e um símbolo de unidade constitui um novo símbolo de unidade inseparável (que forma um múltiplo ou submúltiplo da unidade em questão), que pode ser elevado a uma potência positiva ou negativa, e que pode ser combinado a outros símbolos de unidades para formar símbolos de unidades compostas.

Exemplos:

$$\begin{aligned}
 2,3 \text{ cm}^3 &= 2,3 (\text{cm})^3 = 2,3 (10^{-2} \text{ m})^3 = 2,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \\
 1 \text{ cm}^{-1} &= 1 (\text{cm})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} = 100 \text{ m}^{-1} \\
 1 \text{ V/cm} &= (1 \text{ V})/(10^{-2} \text{ m}) = 10^2 \text{ V/m} = 100 \text{ V/m} \\
 5000 \mu\text{s}^{-1} &= 5000 (\mu\text{s})^{-1} = 5000 (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 5 \times 10^9 \text{ s}^{-1}
 \end{aligned}$$

Os prefixos SI representam exclusivamente potências de 10 e não devem ser utilizados para expressar potências de 2 (por exemplo, um kilobit representa 1000 bits e não 1024 bits). Os prefixos adotados pela IEC para as potências binárias são publicados na norma internacional IEC 60027-2: 2005, 3ª edição, *símbolos literais para utilização em eletrotécnica - Parte 2 : Telecomunicações e eletrônica*. Os nomes e símbolos dos prefixos correspondentes a 2^{10} , 2^{20} , 2^{30} , 2^{40} , 2^{50} e 2^{60} são, respectivamente: kibi, Ki; mébi, Mi; gibi, Gi; têbi, Ti; pébi, Pi; e exbi, Ei. Assim, por exemplo, um kibibyte se escreve : 1 KiB = 2^{10} B = 1024 B, onde B designa um byte. Ainda que esses prefixos não pertençam ao SI, eles devem ser utilizados na informática, a fim de evitar o uso incorreto dos prefixos SI.

Exemplos do emprego dos prefixos:
 pm (picômetro)
 mmol (milimol)
 G Ω (gigaohm)
 THz (terahertz)

Do mesmo modo, os nomes dos prefixos não se separam dos nomes das unidades aos quais eles estão ligados. Assim, por exemplo, milímetro, micropascal e meganewton formam uma só palavra.

Os símbolos dos prefixos compostos, isto é, os símbolos dos prefixos formados por justaposição de dois ou mais símbolos de prefixos não são permitidos. Esta regra também se aplica aos nomes dos prefixos compostos.

Os símbolos dos prefixos nunca podem ser usados sozinhos ou ligados ao número 1, o símbolo da unidade um. Do mesmo modo, nomes de prefixos não podem estar ligados ao nome da unidade um, isto é, à palavra “um”.

Os nomes e símbolos dos prefixos são usados com várias unidades fora do SI (ver o capítulo 5), porém eles nunca são usados com as unidades de tempo: minuto, min; hora, h; dia, d. Contudo, os astrônomos usam miliarcossegundo, cujo símbolo é “mas”, e o microarcossegundo, símbolo “ μ as”, como unidades para a medida de ângulos muito pequenos.

nm (nanometro)
porém não
mm (milimetro)

O número de átomos de chumbo numa amostra é $N(\text{Pb}) = 5 \times 10^6$, **e não** $N(\text{Pb}) = 5 \text{ M}$, onde M representa o prefixo meg

3.2 O quilograma

Entre as unidades de base do Sistema Internacional, a unidade de massa, o quilograma, é a única cujo nome, por motivos históricos, contém um prefixo. Os nomes e os símbolos dos múltiplos e dos submúltiplos decimais da unidade de massa são formados pela união dos nomes dos prefixos à palavra “grama” e dos símbolos dos prefixos ao símbolo da unidade “g” (CIPM - 1967, Recomendação 2; PV, **35**, 29 e *Metrologia*, 1968, **4**, 45).

$10^{-6} \text{ kg} = 1 \text{ mg}$,
porém não
 $1 \mu\text{kg}$
(microkilograma).

4 Unidades fora do SI

O Sistema Internacional de Unidades - SI é um sistema de unidades, aprovado pela CGPM, que fornece as unidades de referência aprovadas em nível internacional, em função das quais todas as outras unidades são definidas. O uso do SI é recomendado na ciência, na tecnologia, na engenharia e no comércio. As unidades de base do SI e as unidades derivadas coerentes do SI, incluindo aquelas que possuem nomes especiais, têm a vantagem considerável de formar um conjunto coerente. Em razão disso não há necessidade de serem realizadas conversões de unidades quando atribuímos valores particulares às grandezas nas equações de grandezas. Sendo o SI o único sistema de unidades mundialmente reconhecido, tem a clara vantagem de estabelecer uma linguagem universal. Enfim, se todos utilizarem esse sistema, ele simplificará o ensino da ciência e da tecnologia para a próxima geração.

No entanto, é reconhecido que algumas unidades fora do SI ainda são utilizadas em publicações científicas, técnicas e comerciais, e que elas continuarão em uso ainda por muitos anos. Algumas unidades fora do SI são importantes sob o ponto de vista histórico na literatura tradicional. Outras unidades fora do SI, como as unidades de tempo e de ângulo, estão tão enraizadas na história e na cultura humana que continuarão a ser usadas no futuro. Por outro lado, os cientistas, caso achem alguma vantagem particular em seu trabalho, devem ter a liberdade de utilizar, às vezes, unidades fora do SI. Um exemplo disso é a utilização das unidades CGS para a teoria do eletromagnetismo aplicada à eletrodinâmica quântica e à relatividade. Por estas razões é útil listar -se as unidades fora do SI mais importantes, que serão apresentadas nas tabelas adiante. Todavia, é necessário compreender que quando se utilizam essas unidades, perdem-se as vantagens do SI.

A inclusão de unidades fora do SI neste texto não significa que seu uso deva ser encorajado. Pelas razões já apresentadas, a utilização das unidades SI deve ser, em geral, preferida. Também é aconselhável evitar a combinação de unidades fora do SI com unidades SI. Especialmente a combinação de unidades fora do SI com unidades SI para formar unidades compostas deve ser restrito a casos específicos para não comprometer as vantagens do SI. Por fim, recomenda-se a prática de se definir as unidades fora do SI das tabelas 7, 8 e 9, em função das unidades do SI correspondentes.

4.1 Unidades fora do SI em uso com o SI e unidades baseadas em constantes fundamentais

Em 2004, o CIPM revisou a classificação das unidades fora do SI, publicada na 7ª edição da publicação do SI. A tabela 6 fornece uma lista de unidades fora do SI cujo uso com o SI é admitido pelo CIPM, visto que essas unidades são bastante utilizadas na vida cotidiana. A utilização dessas unidades poderá prolongar-se indefinidamente e cada uma dessas unidades possui uma definição exata em unidades do SI. As tabelas 7, 8 e 9 contêm as unidades utilizadas somente em circunstâncias especiais. As unidades da tabela 7 estão relacionadas às constantes fundamentais e seus valores devem ser determinados de maneira experimental. As tabelas 8 e 9 contêm as unidades que possuem um valor definido quando são expressas em unidades do SI e que são utilizadas em circunstâncias especiais

para atender às necessidades das áreas comerciais, legais ou a interesses científicos especiais. É provável que essas unidades continuem a ser utilizadas ainda durante muitos anos. Muitas dessas unidades são importantes para a interpretação de antigos textos científicos. As tabelas 6, 7, 8 e 9 são apresentadas adiante.

A tabela 6 contém as unidades tradicionais de tempo e de ângulo. Ela também contém o hectare, o litro e a tonelada, unidades de uso corrente em nível mundial e que diferem das unidades coerentes SI correspondentes, por um fator igual a uma potência inteira de dez. Os prefixos SI são utilizados com várias dessas unidades, exceto com as unidades de tempo.

Tabela 6 - Unidades fora do SI, em uso com o SI

Grandeza	Nome da unidade	Símbolo da unidade	Valor em unidades do SI
tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora ^(a)	h	1 h = 60 min = 3.600 s
	dia	d	1 d = 24 h = 86.400 s
ângulo plano	grau ^(b, c)	°	1° = (π /180) rad
	minuto	'	1' = (1/60)° = (π /10 800) rad
	segundo ^(d)	''	1'' = (1/60)' = (π /648 000) rad
área	hectare ^(e)	ha	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²
volume	litro ^(f)	L, l	1 L = 1 l = 1 dm ³ = 10 ³ cm ³ = 10 ⁻³ m ³
massa	tonelada ^(g)	t	1 t = 10 ³ kg

(a) O símbolo dessa unidade foi incluído na resolução 7 da 9ª CGPM (1948; CR,70).

(b) A norma ISO 31 recomenda que o grau seja subdividido de maneira decimal, ao invés de se utilizar o minuto e o segundo. Todavia, em navegação e topografia, a vantagem de se utilizar o minuto se deve ao fato de que um minuto de latitude na superfície da terra corresponde (aproximadamente) a uma milha náutica.

(c) O gon, às vezes chamado de grado, é outra unidade de ângulo plano definida como sendo igual a (π /200) rad. Assim, um ângulo reto compreende 100 gons ou 100 grados. O gon ou o grado pode ser útil no campo da navegação, porque a distância entre o pólo e o Equador, na superfície da terra, é igual a, aproximadamente, 10000 km; 1 km na superfície da terra subtende, então, um ângulo de um centigon ou de um centigrado no centro da terra. O gon e o grado são, todavia, muito raramente utilizados.

(d) Em astronomia, os ângulos pequenos são medidos em arcossegundos (isto é, em segundos de ângulo plano), cujo símbolo é as ou '' , em miliarcossegundos, microarcossegundos, ou picoarcossegundos (cujos símbolos são respectivamente: "mas", "µas" e "pas"). O arcossegundo é um nome alternativo do segundo de ângulo plano.

(e) A unidade hectare e seu símbolo foram adotados pelo CIPM em 1879 (PV, 1879, 41). O hectare é utilizado para exprimir áreas agrárias.

(f) O litro e seu símbolo l (ele minúsculo) foram adotados pelo CIPM em 1879 (PV, 1879, 41). O símbolo L (ele maiúsculo) foi adotado pela 16ª CGPM (1979, Resolução 6; CR, 101 e *Metrologia*, 1980, **16**, 56-57) como alternativa para evitar o risco de confusão entre a letra l e o algarismo um (1).

(g) A tonelada e seu símbolo t foram adotados pelo CIPM em 1879 (PV, 1879, 41). Nos países de língua inglesa, essa unidade é, geralmente, designada pelo nome de tonelada métrica - "metric ton".

A tabela 7 contém as unidades cujos valores em unidades do SI só podem ser obtidos experimentalmente e, portanto, têm uma incerteza associada. Com exceção da unidade astronômica, todas as unidades da tabela 7 estão relacionadas às constantes fundamentais da física. O CIPM aceitou o uso com o SI das três primeiras unidades dessa tabela: as unidades fora do SI elétron-volt (símbolo eV), dalton (símbolo Da) ou unidade de massa atômica unificada (símbolo u) e a unidade astronômica (símbolo ua). As unidades da tabela 7 possuem um papel importante em certos campos especializados em que os resultados de medições e cálculos são expressos de maneira mais conveniente e útil, por meio dessas unidades. Para o elétron-volt e o dalton, os valores dependem da carga elétrica elementar e e da constante de Avogadro N_A , respectivamente.

Existem muitas outras unidades desta natureza, pois em diversas áreas é mais conveniente exprimir - se os resultados de observações experimentais ou de cálculos teóricos por meio das constantes fundamentais da natureza. Os dois sistemas de unidades mais importantes baseados nas constantes fundamentais são o sistema de unidades naturais (u.n.), utilizado no campo da física de alta energia e de partículas, e o sistema de unidades atômicas (u.a.), utilizado na física atômica e química quântica. No sistema de unidades naturais, as grandezas de base na mecânica são a velocidade, a ação e a massa, cujas unidades de base são a velocidade da luz no vácuo c_0 , a constante de Planck h dividida por 2π , chamada de constante de Planck reduzida, com o símbolo $\hbar$, e a massa do elétron m_e , respectivamente. Em geral essas unidades não recebem nomes ou símbolos especiais, sendo simplesmente chamadas de unidade natural de velocidade, símbolo c_0 , unidade natural de ação, símbolo $\hbar$, e unidade natural de massa, símbolo m_e . Neste sistema, o tempo é uma grandeza derivada e a unidade natural de tempo é uma unidade derivada igual à combinação de unidades de base $\hbar/m_e c_0^2$. Do mesmo modo, no sistema de unidades atômicas, qualquer conjunto com quatro unidades dentre as cinco grandezas: carga, massa, ação, comprimento e energia, pode ser considerado como um conjunto de grandezas de base. As correspondentes unidades de base são e para a carga elétrica elementar, m_e para a massa do elétron, $\hbar$ para ação, a_0 para o raio de Bohr (ou bohr) e E_h para a energia de Hartree (ou hartree), respectivamente. Neste sistema, o tempo também é uma grandeza derivada e a unidade atômica de tempo é uma unidade derivada, igual a $\hbar/E_h$. Observe que $a_0 = (\alpha/4\pi R_\infty)$, onde α é a constante de estrutura fina e R_∞ é a constante de Rydberg, tal que $E_h = e^2/(4\pi\epsilon_0 a_0) = 2R_\infty h c_0 = \alpha^2 m_e c_0^2$, onde ϵ_0 é a constante elétrica (permissividade no vácuo) e possui valor exato no SI.

Para informação, estas dez unidades naturais e atômicas e seus valores em unidades SI estão listadas na tabela 7. Como os sistemas de grandezas em que essas unidades se baseiam diferem fundamentalmente daquele no qual se baseia o SI, essas unidades geralmente não são utilizadas com o SI, e o CIPM não aprovou oficialmente sua utilização com o Sistema Internacional. Para uma boa compreensão, o resultado final de uma medição ou de um cálculo expresso em unidades naturais ou atômicas também deve sempre ser expresso na unidade SI correspondente. As unidades naturais e as unidades atômicas são utilizadas somente nas áreas da física das partículas, da física atômica e da química quântica. As incertezas-padrão dos últimos algarismos significativos são mostradas entre parênteses após cada valor numérico.

Tabela 7 - Unidades fora do SI, cujo valor em Unidades SI é obtido experimentalmente

Grandeza	Nome da Unidade	Símbolo da Unidade	Valor em Unidades do SI ^(a)
Unidades em uso com o SI			
energia	elétron-volt ^(b)	eV	1 eV = 1,602 176 53 (14) x 10 ⁻¹⁹ J
massa	dalton, ^(c)	Da	1 Da = 1,660 538 86 (28) x 10 ⁻²⁷ kg
	unidade de massa atômica unificada	u	1 u = 1 Da
comprimento	unidade astronômica ^(d)	ua	1 ua = 1,495 978 706 91 (6) x 10 ¹¹ m
Unidades naturais (u.n.)			
velocidade	unidade natural de velocidade (velocidade da luz no vácuo)	c_0	299 792 458 m/s (exato)
ação	unidade natural de ação (constante de Planck reduzida)	$\hbar$	1,054 571 68 (18) x 10 ⁻³⁴ J s
massa	unidade natural de massa (massa do elétron)	m_e	9,109 3826 (16) x 10 ⁻³¹ kg
tempo	unidade natural de tempo	$\hbar/m_e c_0^2$	1,288 088 6677 (86) x 10 ⁻²¹ s
Unidades atômicas (u.a.)			
carga	unidade atômica de carga (carga elétrica elementar)	e	1,602 176 53 (14) x 10 ⁻¹⁹ C
massa	unidade atômica de massa (massa do elétron)	m_e	9,109 3826 (16) x 10 ⁻³¹ kg
ação	unidade atômica de ação (constante de Plank reduzida)	$\hbar$	1,054 571 68 (18) x 10 ⁻³⁴ J s
comprimento	unidade atômica de comprimento, bohr (raio de Bohr)	a_0	0,529 177 2108 (18) x 10 ⁻¹⁰ m
energia	unidade atômica de energia, hartree (energia de Hartree)	E_h	4,359 744 17 (75) x 10 ⁻¹⁸ J
tempo	unidade atômica de tempo	$\hbar/E_h$	2,418 884 326 505 (16) x 10 ⁻¹⁷ s

(a) Os valores em unidades SI de todas as unidades dessa tabela, com exceção da unidade astronômica, provêm da lista de valores das constantes fundamentais recomendadas pela CODATA, em 2002, publicada por P.J. Mohr e B.N. Taylor. *Rev. Mod. Phys.*; 2005, **77**, 1-107. A incerteza padrão dos dois últimos algarismos é dada entre parênteses (ver 5.3.5, pág. 47).

(b) O elétron-volt é a energia cinética adquirida por um elétron após atravessar uma diferença de potencial de 1 V no vácuo. O elétron-volt é, frequentemente, combinado com os prefixos SI.

(c) O dalton (Da) e a unidade de massa atômica unificada (u) são nomes alternativos (e símbolos) para a mesma unidade, igual a 1/12 da massa do átomo de ¹²C livre, em repouso e em seu estado fundamental. O dalton é frequentemente combinado com os prefixos SI, por exemplo, para expressar a massa de grandes moléculas, em kilodaltons (kDa), ou megadaltons (MDa), e para expressar o valor de pequenas diferenças de massa de átomos ou moléculas, em nanodaltons (nDa), ou mesmo picodaltons (pDa).

(d) A unidade astronômica é aproximadamente igual à distância média entre a Terra e o Sol. É o raio de uma órbita newtoniana circular não perturbada em redor do Sol de uma partícula de massa infinitesimal, se deslocando a uma velocidade média de 0,017 202 098 95 radianos por dia (conhecida como constante de Gauss). O valor da unidade astronômica é dado na IERS Conventions 2003 (D. D. McCarthy e G. Petit eds. *IERS Technical Note* 32, Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2004, 12). O valor da unidade astronômica, em metros, provêm do JPL efemérides DE403 (Standish E.M; Relatório do IAU WGAS Sub Grupo de Padrões Numéricos, *Highlights of Astronomy*, Appenzeller ed., Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995, 180-184).

As tabelas 8 e 9 contêm unidades fora do SI utilizadas para atender às necessidades específicas de determinados grupos, por diferentes motivos. Ainda que seja preferível utilizar as unidades SI, face aos motivos já relatados, os autores que veem vantagens particulares em utilizar essas unidades fora do SI devem ter liberdade para fazê-lo, caso as considerem mais apropriadas para suas necessidades. Uma vez que as unidades SI são a base internacional segundo a qual todas as outras unidades são definidas, aqueles que utilizam as unidades das tabelas 8 e 9 devem sempre mencionar sua definição nas unidades SI.

A tabela 8 contém também as unidades das grandezas logarítmicas, o neper, o bel e o decibel. Estas são unidades adimensionais de natureza um pouco diferente das outras unidades adimensionais e alguns cientistas consideram que elas não deveriam ser chamadas de unidades. Essas unidades são utilizadas para transmitir informações sobre razões de grandeza de natureza logarítmica. O neper, Np, é utilizado para expressar os valores de grandezas cujos valores numéricos se baseiam no uso do logaritmo neperiano (ou natural), $\ln = \log_e$. O bel, B, e o decibel, dB, onde $1 \text{ dB} = (1/10) \text{ B}$, são utilizados para expressar os valores de grandezas logarítmicas cujos valores numéricos se baseiam no uso do logaritmo na base 10, onde $\lg = \log_{10}$. A maneira como essas grandezas são interpretadas está descrita nas notas (g) e (h) da tabela 8. Raramente é necessário se atribuir um valor numérico para essas unidades. As unidades neper, bel e decibel foram aceitas pelo CIPM para uso com o SI, mas não são consideradas como unidades SI.

Os prefixos SI são utilizados com duas das unidades da tabela 8, a saber, com o bar (por exemplo, milibar, mbar) e com o bel especificamente para o decibel, dB. O decibel é explicitamente mencionando na tabela porque o bel é muito pouco utilizado sem esse prefixo.

Tabela 8 - Outras unidades fora do SI

Grandeza	Nome da unidade	Símbolo da unidade	Valor em unidades SI
pressão	bar ^(a) milímetro de mercúrio ^(b)	bar mmHg	1 bar = 0,1 MPa = 100 kPa = 10^5 Pa 1 mmHg = 133,322 Pa
comprimento	angstrom ^(c)	Å	1 Å = 0,1 nm = 100 pm = 10^{-10} m
distância	milha náutica ^(a)	M	1 M = 1 852 m
área	barn ^(e)	b	1 b = 100 fm ² = $(10^{-12} \text{ cm})^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$
velocidade	nó ^(d)	kn	1 kn = (1852/3600) m/s
grandezas de razão logarítmicas	neper ^(g, h) bel ^(h, i) decibel ^(h, i)	Np B dB	Veja nota j sobre o valor numérico do neperiano, do bel e do decibel

(a) O bar e seu símbolo foram incluídos na resolução 7 da 9ª CGPM (1948; CR, 70). Desde 1982, todos os dados termodinâmicos são tabulados para a pressão normal de um bar. Antes de 1982 a pressão normal era a atmosfera normal, igual a 1,013 25 bar ou 101 325 Pa.

(b) Em alguns países o milímetro de mercúrio é a unidade de medida legal de pressão arterial.

(c) O angstrom é bastante utilizado nas áreas da cristalografia de raios-X e da química estrutural porque o comprimento das ligações químicas se situa na faixa compreendida entre 1 e 3 angstroms. O angstrom, todavia, não foi sancionado pelo CIPM nem pela CGPM.

(d) A milha náutica é uma unidade especial empregada na navegação marítima e aérea para expressar distâncias. Esse valor foi adotado por convenção, pela Primeira Conferência Hidrográfica Internacional Extraordinária, em Mônaco, 1929, sob o nome de “milha náutica internacional”. Não existe símbolo conveniente aceito internacionalmente, mas são utilizados os símbolos M, NM, Nm e nmi. Na tabela 8 foi utilizado somente o símbolo M. Originalmente essa unidade foi escolhida e continua a ser utilizada, porque uma milha náutica na superfície da terra subentende, aproximadamente, um

N.T.: O símbolo da unidade angstrom “Å” é escrito digitando-se <Alt>143. Este nome de unidade homenageia o astrônomo e físico sueco Anders Jonas Ångström.

ângulo de um minuto com vértice no centro da terra, o que é conveniente quando a latitude e a longitude são medidas em graus e minutos de ângulo.

(e) O barn é uma unidade de área empregada para expressar seção de choque em física nuclear

(f) O nó é definido como uma milha náutica por hora. Não há símbolo acordado internacionalmente, mas o símbolo kn é frequentemente utilizado.

(g) A igualdade $L_A = n \text{ Np}$ (onde n é um número) é interpretada como significando que $\ln(A_2/A_1) = n$. Então, quando $L_A = 1 \text{ Np}$, $A_2/A_1 = e$. O símbolo A é utilizado aqui para designar a amplitude de um sinal senoidal, e L_A é, então, chamado de logaritmo neperiano da razão de amplitude ou diferença de nível de amplitude neperiana.

(h) A igualdade $L_x = m \text{ dB} = (m/10) \text{ B}$ (onde m é um número) é interpretada como significando que $\lg(X/X_0) = m/10$. Então, quando $L_x = 1 \text{ B}$, $X/X_0 = 10$, e quando $L_x = 1 \text{ dB}$, $X/X_0 = 10^{1/10}$. Se X designa um sinal médio quadrático ou uma grandeza tipo potência, L_x é chamado de nível de potência em relação a X_0 .

(i) Quando se utilizam essas unidades é importante especificar a natureza da grandeza em questão e o valor de referência utilizado. Essas unidades não são unidades SI, mas sua utilização com o SI foi aceita pelo CIPM.

(j) Raramente é necessário se especificar os valores numéricos do neper, do bel e do decibel (e a relação do bel e do decibel ao neper). Isto depende da maneira como as grandezas logarítmicas são definidas.

A diferença entre a tabela 8 e a tabela 9 é que esta última apresenta as unidades relacionadas às antigas unidades do sistema CGS (centímetro, grama, segundo) e contém as unidades elétricas CGS. No campo da mecânica, o sistema de unidades CGS foi criado com base em três grandezas e suas unidades de base correspondentes: o centímetro, o grama e o segundo. As unidades elétricas CGS continuam a ser obtidas a partir destas três unidades de base, usando equações diferentes daquelas utilizadas no SI. Como isto pode ser feito de diversas maneiras foram estabelecidos vários sistemas diferentes: o sistema CGS-UEE (eletrostático), o sistema CGS-UEM (eletromagnético) e o sistema de unidades gaussianas - CGS. Particularmente, sempre foi reconhecido que o sistema gaussiano CGS apresenta vantagens em certas áreas da física, como a eletrodinâmica clássica e relativística (9ª CGPM; 1948, Resolução 6). A tabela 9 menciona as relações entre as unidades do CGS e do SI, bem como a lista das unidades CGS que receberam nomes especiais. Assim como para as unidades da tabela 8, os prefixos SI também são utilizados com várias dessas unidades (por exemplo: milidina, símbolo mdyn; miligauss, símbolo mG, etc).

Tabela 9 - Unidades fora do SI associadas com o sistema CGS e o sistemas gaussiano CGS

Grandezas	Nome da unidade	Símbolo da unidade	Valor em unidades SI
energia	erg ^(a)	erg	1 erg = 10 ⁻⁷ J
força	dina ^(a)	dyn	1 dyn = 10 ⁻⁵ N
viscosidade dinâmica	poise ^(a)	P	1 P = 1 dyn s cm ⁻² = 0,1 Pa s
viscosidade cinemática	stokes	St	1 St = 1 cm ² s ⁻¹ = 10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
luminância	stilb ^(a)	sb	1 sb = 1 cd cm ⁻² = 10 ⁴ cd m ⁻²
iluminância	phot	ph	1 ph = 1 cd sr cm ⁻² = 10 ⁴ lx
aceleração	gal ^(b)	Gal	1 Gal = 1 cm s ⁻² = 10 ⁻² m s ⁻²
fluxo magnético	maxwell ^(c)	Mx	1 Mx = 1 G cm ² = 10 ⁻⁸ Wb
indução magnética	gauss ^(c)	G	1 G = 1 Mx/cm ² = 10 ⁻⁴ T
campo magnético	œ rsted ^(b)	Oe	1 Oe ≡ (10 ³ /4π) A/m ⁻¹

- (a) Esta unidade e seu símbolo foram incluídos na resolução 7 da 9ª CGPM (1948; CR 70).
- (b) O gal é uma unidade especial de aceleração empregada em geodésia e geofísica para expressar a aceleração devida à gravidade.
- (c) Estas unidades fazem parte do chamado sistema CGS tridimensional “eletromagnético”, que se baseia em equações de grandezas não racionalizadas e devem ser comparadas com cuidado com as unidades correspondentes do SI, pois este se baseia em equações racionalizadas, na teoria eletromagnética, envolvendo quatro dimensões e quatro grandezas. O fluxo magnético Φ e a indução magnética B são definidas por equações similares no sistema CGS e no SI, permitindo relacionar as unidades correspondentes na tabela. Entretanto, o campo magnético não racionalizado H (não racionalizado) = $4\pi H$ (racionalizado). O símbolo de equivalência ($\triangleq$) é utilizado para indicar que quando H (não racionalizado) = 1 Oe, H (racionalizado) = $(10^3/4\pi)$ A m⁻¹.
-

4.2 Outras unidades fora do SI cujo uso não é recomendado

O número de unidades fora do SI é muito numeroso para todas serem listadas neste documento. Algumas delas possuem interesse histórico ou são utilizadas em áreas específicas (como o barril de petróleo) ou em alguns países (como a polegada, o pé e a jarda). O CIPM não vê qualquer razão para a continuação da utilização dessas unidades em trabalhos científicos e técnicos modernos. Entretanto, é importante reconhecer - se a relação entre essas unidades e as unidades SI correspondentes, e isto continuará a ser uma realidade por muitos anos. Assim, o CIPM decidiu elaborar uma lista de fatores de conversão dessas unidades para as unidades SI.

Esta lista pode ser consultada na sítio do BIPM, no endereço:

www.bipm.org/fr/si/si_brochure/chapter4/conversion_factors.html

5 Regras para grafia de nomes e símbolos das unidades e expressão dos valores das grandezas

Os princípios gerais referentes à grafia dos símbolos das unidades e dos nomes foram inicialmente propostos pela 9ª CGPM (1948, Resolução 7). Posteriormente foram aprovados e usados pela ISO, IEC e outros organismos internacionais. Em consequência, atualmente há um consenso geral sobre a maneira como devem ser escritos os símbolos e nomes das unidades, incluindo nomes e símbolos dos prefixos, bem como os símbolos e os valores das grandezas. O atendimento a estas regras e convenções de estilo, das quais as mais importantes são apresentadas neste capítulo, facilita a leitura de artigos científicos e técnicos.

5.1 Símbolos das unidades

Os símbolos das unidades devem ser impressos em tipo romano (vertical), qualquer que seja o tipo empregado no texto onde eles aparecem. Em geral, os símbolos das unidades são escritos em letras minúsculas, entretanto, se o nome da unidade deriva de um nome próprio, a primeira letra do nome é maiúscula.

O símbolo do litro constitui uma exceção a essa regra. A 16ª CGPM (1979, Resolução 6) aprovou a utilização das letra L (maiúscula) ou l (minúscula) como símbolo do litro a fim de evitar confusão entre o algarismo 1 (um) e a letra l (ele).

Quando se utiliza um prefixo de múltiplo ou submúltiplo, este faz parte da unidade e precede o símbolo da unidade, sem espaço entre o símbolo do prefixo e o símbolo da unidade. Um prefixo jamais é empregado sozinho e nunca se utilizam prefixos compostos.

Os símbolos das unidades são entidades matemáticas e não abreviações. Então, não devem ser seguidos de ponto, exceto se estiverem localizados no final da frase. Os símbolos não variam no plural e não se misturam símbolos com nomes de unidades numa mesma expressão, pois os nomes não são entidades matemáticas.

As regras clássicas de multiplicação e divisão algébricas são aplicadas para formar os produtos e quocientes dos símbolos das unidades. A multiplicação deve ser indicada por um espaço ou um ponto centrado à meia altura ($\cdot$), para evitar que alguns prefixos sejam interpretados de forma errônea como um símbolo de unidade. A divisão é indicada por uma linha horizontal, por uma barra inclinada (/) ou por expoentes negativos. Quando se combinam vários símbolos é necessário se tomar cuidado para evitar qualquer tipo de ambiguidade, por exemplo, utilizando-se colchetes ou parênteses, ou expoentes negativos. Não se deve utilizar uma barra inclinada mais de uma vez numa expressão sem parênteses, a fim de evitar qualquer ambiguidade.

Não é permitida a utilização de abreviações para os símbolos e nomes das unidades como, por exemplo: seg (para s ou segundo); mm quadrado (para mm^2 ou milímetro quadrado); cc (para cm^3 ou centímetro cúbico); ou mps (para m/s ou metro por segundo). A utilização correta dos símbolos das unidades SI e das

m, metro
s, segundo
Pa, pascal
 Ω , ohm

L ou l, litro

nm, **não** nmm

Escreve-se 75 cm de comprimento, **e não** 75 cm. de comprimento
 $l = 75 \text{ cm}$
e não 75 cms

coulomb por kilograma, **e não** coulomb por kg

N m ou N·m para o newton metro
 m/s ou $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ou m s^{-1} para metro por segundo

ms, milissegundo;
m s, metro vezes segundo

$\text{m kg}/(\text{s}^3 \text{ A})$ ou $\text{m kg s}^{-3} \text{ A}^{-1}$, **porém não** $\text{m kg/s}^3/\text{A}$, **nem** $\text{m kg/s}^3 \text{ A}$

unidades em geral mencionadas nos capítulos anteriores desta publicação é obrigatória. Isto evita as ambiguidades e os erros de compreensão referentes aos valores das grandezas.

5.2 Nomes das unidades

Os nomes das unidades devem ser impressos em tipo romano (vertical) e são considerados como substantivos comuns. Em português, como também no inglês e francês, os nomes das unidades começam por letra minúscula (mesmo que o símbolo da unidade comece com maiúscula). A exceção para começarem com maiúscula é se estiverem localizados no início da frase, ou em sentença com letras maiúsculas, como num título. De acordo com essa regra, a grafia correta do nome da unidade cujo símbolo é °C é “grau Celsius” (a unidade grau começa pela letra “g” minúscula e o adjetivo “Celsius” começa pela letra “C” maiúscula, pois este é um nome próprio).

Embora os valores das grandezas sejam geralmente expressos por meio de números e símbolos das unidades se, por uma razão qualquer, o nome da unidade for mais apropriado do que seu símbolo, convém escrever o nome da unidade com todas as letras.

Quando o nome da unidade é justaposto ao nome de um prefixo, não há espaço, nem traço, entre o nome do prefixo e o nome da unidade. O conjunto formado pelo nome do prefixo e o nome da unidade constitui uma única palavra (ver também capítulo 3 seção 3.1).

Em português quando o nome de uma unidade derivada é constituído pela multiplicação de nomes de unidades, convém utilizar-se um espaço ou um hífen para separar os nomes das unidades.

Em português as potências tais como “quadrado” ou “cúbico”, são empregadas nos nomes das unidades quando elevadas a essas potências, colocadas após o nome da unidade.

Nome da Unidade	Símbolo
-----------------	---------

joule	J
hertz	Hz
metro	m
segundo	s
ampere	A
watt	W

2,6 m/s,
ou 2,6 metros por
segundo

miligrama, **mas não**
mili-grama

kilopascal, **mas não**
kilo-pascal

pascal segundo ou,
pascal-segundo

metro por segundo
quadrado,
centimetro quadrado;
milimetro cúbico,
ampere por metro
quadrado,
quilograma por metro
cúbico

5.3 Regras e convenções de estilo para expressar os valores das grandezas

5.3.1 Valor e valor numérico de uma grandeza; utilização do cálculo formal

O valor de uma grandeza é expresso como o produto de um número por uma unidade; o número que é multiplicado pela unidade é o valor numérico da grandeza expresso nesta unidade. O valor numérico de uma grandeza depende da escolha da unidade. Assim, o valor de uma grandeza particular é independente da escolha da unidade, embora o valor numérico seja diferente, conforme a unidade escolhida. Os símbolos das grandezas são, em geral, uma única letra em itálico, porém podem ser acompanhadas de informações complementares sob a forma de subscritos, sobrepostos ou parênteses. Desse modo, C é o símbolo recomendado para a capacidade térmica; C_m para a capacidade térmica molar; $C_{m,p}$ para a capacidade térmica molar a pressão constante e $C_{m,v}$ para a capacidade térmica molar a volume constante.

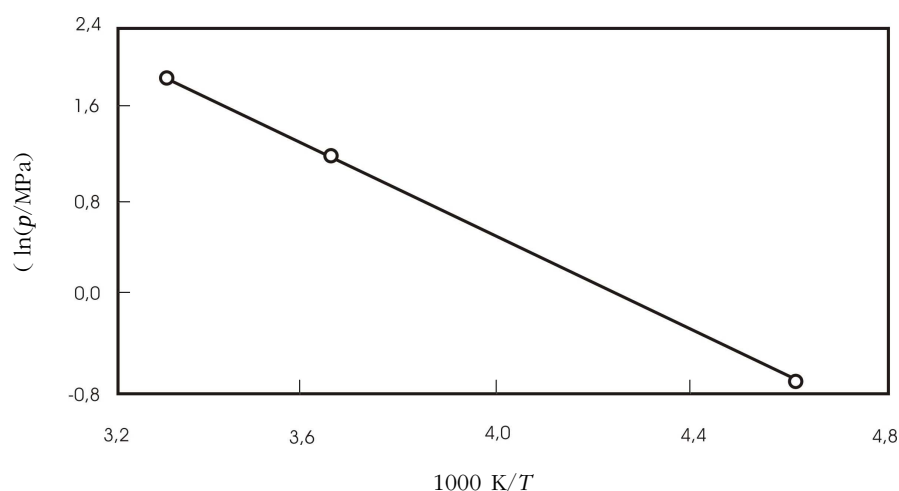
O valor da
velocidade de uma
partícula
 $v = dx/dt$ pode ser
expresso pelas
expressões
 $v = 25\text{m/s} = 90\text{ km/h}$,
onde 25 é o valor
numérico da
velocidade expresso
na unidade metro por
segundo e 90 é o
valor numérico da
velocidade expresso
na unidade quilometro
por hora.

Os nomes e símbolos recomendados para as grandezas estão listados em muitas referências tais como a norma ISO 31 *Grandezas e Unidades**, o IUPAP *SUNAMCO Red Book Symbols, Units and Nomenclature in Physics* e o IUPAC *Green Book Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*. Contudo, os símbolos para as grandezas são apenas recomendações, em contraste com os símbolos das unidades cujo emprego da forma correta é obrigatório. Em casos especiais, os autores podem preferir usar um símbolo de sua própria escolha para uma grandeza, por exemplo, para evitar o conflito que resultaria da utilização do mesmo símbolo para duas grandezas diferentes. Nesses casos é necessário deixar claro o significado do símbolo. Entretanto, nem o nome de uma grandeza, nem o símbolo usado para denotá-la devem implicar na escolha particular da unidade.

Os símbolos das unidades são tratados como entidades matemáticas. Para se exprimir o valor de uma grandeza como o produto de um valor numérico por uma unidade, o valor numérico e a unidade podem ser tratados segundo as regras gerais da álgebra. Por exemplo, a equação $T = 293 \text{ K}$ também pode ser escrita como $T/\text{K} = 293$. Frequentemente é conveniente se escrever o quociente de uma grandeza e uma unidade deste modo no cabeçalho da coluna de uma tabela, de modo que os dados da tabela sejam apenas números. Por exemplo, uma tabela que expresse a pressão de vapor em função da temperatura e o logaritmo natural da pressão de vapor em função do inverso da temperatura pode ter a seguinte forma.

T/K	$10^3 \text{ K}/T$	p/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

Este modo também pode ser usado para nomear os eixos de um gráfico de modo que os rótulos das marcas das graduações sejam expressos apenas por números, como na figura abaixo.



*N.T.: A ISO 31 *Grandezas e Unidades* foi substituída pela ISO 80000 *Grandezas e Unidades*.

Outras formas equivalentes, sob o ponto de vista algébrico, podem ser utilizadas no lugar de 10^3 K/T , como, por exemplo, kK/T ou $10^3 (\text{T/K})^{-1}$.

5.3.2 Símbolos de grandezas e símbolos de unidades

Mesmo que o símbolo de uma grandeza não implique numa escolha particular da unidade, o símbolo da unidade não deve ser utilizado para fornecer informações específicas sobre a grandeza em questão e jamais deve ser a única fonte de informação sobre a grandeza. As unidades jamais devem servir para fornecer informações complementares sobre a natureza da grandeza; este tipo de informação deve estar ligado ao símbolo da grandeza e não ao símbolo da unidade.

Por exemplo, a diferença de potencial elétrico máxima é expressa na forma:

$$U_{\text{max}} = 1000 \text{ V, e não}$$

$$U = 1000 V_{\text{max}}.$$

A fração mássica de cobre na amostra de silício é expressa na forma:

$$w(\text{Cu}) = 1,3 \times 10^{-6},$$

e não $1,3 \times 10^{-6} \text{ w/w}$.

5.3.3 Grafia do valor de uma grandeza

O valor numérico sempre precede a unidade e sempre existe um espaço entre o número e a unidade. Desse modo, sendo o valor de uma grandeza o produto de um número por uma unidade, o espaço é considerado como um sinal de multiplicação. A única exceção para esta regra são os símbolos das unidades do grau, minuto e segundo do ângulo plano $^\circ$, $'$ e $''$ respectivamente, para os quais não há espaço entre o valor numérico e o símbolo da unidade.

Esta regra significa que o símbolo $^\circ\text{C}$, para graus Celsius, é precedido de um espaço para expressar o valor da temperatura Celsius t .

Mesmo quando o valor de uma grandeza é utilizado como um adjetivo, convém deixar um espaço entre o valor numérico e o símbolo da unidade. Somente quando o nome da unidade é escrito com todas as letras é que se aplicam as regras gramaticais ordinárias.

Numa expressão utiliza-se apenas uma unidade. Uma exceção a esta regra é a expressão dos valores das grandezas tempo e ângulo plano com unidades fora do SI. Entretanto, no que diz respeito ao ângulo plano é preferível, em geral, dividir o grau de maneira decimal. Assim, deve-se escrever $22,20^\circ$ ao invés de $22^\circ 12'$, salvo em áreas como a navegação, a cartografia, a astronomia e em medições de ângulos muito pequenos.

$m = 12,3 \text{ g}$, onde m é utilizado como símbolo da unidade da grandeza massa, porém

$$\varphi = 30^\circ 22' 8'',$$

onde φ é utilizado como símbolo da grandeza ângulo plano.

$$t = 30,2 \text{ }^\circ\text{C},$$

e não $t = 30,2^\circ\text{C}$,

nem $t = 30,2^\circ \text{ C}$

Uma resistência de $10 \text{ k}\Omega$

um filme de 35 milímetros de comprimento

$$l = 10,234 \text{ m},$$

e não

$$l = 10 \text{ m } 23,4 \text{ cm}$$

5.3.4 Grafia de números e do separador decimal

O símbolo utilizado para separar a parte inteira da parte decimal de um número é chamado de separador decimal. De acordo com a 22ª CGPM (2003, Resolução 10), o símbolo do separador decimal “deve ser um ponto sobre a linha ou uma vírgula sobre a linha”. A escolha do separador decimal deve ser feita de acordo com o uso corrente no país.

Se o número se situar entre $+1$ e -1 , o separador decimal será sempre precedido de um zero.

$$-0,234,$$

e não $-.234$

Segundo a 9ª CGPM (1948, Resolução 7) e a 22ª CGPM (2003, Resolução 10), os números com uma grande quantidade de algarismos podem ser apresentados em classes de três algarismos, separados por um espaço, a fim de facilitar a leitura. Essas classes jamais devem ser separadas por pontos ou por vírgulas. Todavia, quando houver somente quatro algarismos, antes ou depois do símbolo

$$43 \ 279,168 \ 29,$$

e não $43.279,168.29$

$$3279,1683$$

ou $3 \ 279,168 \ 3$

decimal (vírgula), é usual não se isolar um algarismo por um espaço. A prática de se agrupar os algarismos deste modo é uma questão de escolha pessoal; ela nem sempre é seguida em certas áreas especializadas, tais como o desenho industrial, documentos financeiros e manuscritos para serem lidos por um computador.

No que se refere a números de uma tabela o formato utilizado não deve variar numa mesma coluna.

5.3.5 Expressão da incerteza de medição associada ao valor de uma grandeza

A incerteza associada ao valor estimado de uma grandeza deve ser avaliada e expressa de acordo com o *Guia para expressão da incerteza de medição* [ISO, 1995]. A incerteza padrão, isto é, o desvio padrão estimado correspondente a um fator de abrangência $k=1$, associada a uma grandeza x é denotada por $u(x)$. Uma maneira conveniente de representar a incerteza é dada no exemplo:

$$m_n = 1,674\,927\,28\,(29) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

onde m_n é o símbolo da grandeza (neste caso a massa de um nêutron) e o número entre parênteses é o valor numérico da incerteza padrão combinada de m_n , referente aos dois últimos algarismos do valor estimado, nesse caso

$$u(m_n) = 0,000\,000\,29 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Se for empregado um fator de abrangência k diferente de 1, é necessário declarar esse fator.

5.3.6 Multiplicação ou divisão de símbolos de grandezas, de valores de grandezas ou de números

Para multiplicar ou dividir os símbolos das grandezas, é possível utilizar - se qualquer das seguintes grafias: ab , $a\,b$, $a \cdot b$, $a \times b$, a/b , $\frac{a}{b}$, $a\,b^{-1}$.

Para se multiplicar os valores de grandezas deve ser empregado um sinal de multiplicação, $\times$, ou parênteses (ou colchetes), e nunca um ponto à meia altura (centrado). Quando se multiplica números, convém utilizar - se somente o sinal de multiplicação ($\times$).

Para se dividir valores de grandezas por meio de uma barra inclinada, devem ser utilizados parênteses ou colchetes para evitar qualquer ambiguidade.

Exemplos:

$F = ma$ para uma força igual a massa multiplicada pela aceleração

$(53 \text{ m/s}) \times 10,2 \text{ s}$
ou $(53 \text{ m/s})(10,2 \text{ s})$

$25 \times 60,5$
mas não $25 \cdot 60,5$

$(20 \text{ m})/(5 \text{ s}) = 4 \text{ m/s}$

$(a/b)/c$ e **não** $a/b/c$

5.3.7 Valor de grandeza adimensional ou de grandezas de dimensão um

Como apresentado na seção 2.2.3, a unidade SI coerente para grandezas adimensionais, ou grandezas de dimensão um, é o número um, símbolo 1. Os valores dessas grandezas são expressos simplesmente como números. O símbolo da unidade 1 ou nome da unidade “um” não é mostrado explicitamente e não há nome nem símbolo especiais para a unidade um, salvo as exceções seguintes. Para a grandeza ângulo plano, a unidade um recebe o nome especial radiano (símbolo rad) e para a grandeza ângulo sólido, a unidade um recebe o nome especial esferorradiano (símbolo sr). Para as grandezas logarítmicas são utilizados os nomes especiais neperiano (símbolo Np), bel (símbolo B) e decibel (símbolo dB). (ver 4.1 e tabela 8, pág. 40).

$n = 1,51$,
e não $n = 1,51 \times 1$
onde n é o símbolo da grandeza índice de refração.

Como os símbolos dos prefixos SI não podem ser justapostos ao símbolo 1 nem ao nome da unidade “um”, são utilizadas potências de 10 para expressar os valores das grandezas adimensionais especialmente grandes ou especialmente pequenas.

Nas expressões matemáticas, o símbolo % (porcento), reconhecido internacionalmente, pode ser empregado com o SI para representar o número 0,01. Assim, esse símbolo pode ser utilizado para expressar os valores das grandezas adimensionais. Quando se utiliza o símbolo % deve-se deixar um espaço entre o número e o símbolo. Para se expressar valores de grandezas adimensionais desta maneira, é preferível utilizar o símbolo % ao invés do nome “porcento”.

Em texto escrito, o símbolo % significa, em geral, “partes por cem”.

Expressões tais como: “porcentagem em massa”, “porcentagem em volume” e “porcetagem de quantidade de substância” não deveriam ser utilizadas. A informação sobre a grandeza em questão deveria ser dada pelo nome e símbolo da grandeza.

Para expressar valores de frações adimensionais (por exemplo: fração mássica, fração volúmica, incerteza relativa, etc.) as vezes é útil o uso da razão de duas unidades do mesmo tipo.

O termo “ppm”, que significa 10^{-6} em valor relativo ou 1 em 10^6 , ou partes por milhão, também é utilizado. Isto é análogo ao significado do por cento como parte por cem. Os termos “partes por bilhão” e “partes por trilhão” e suas abreviações “ppb” e “ppt”, respectivamente, também são utilizados, porém, seus significados variam conforme o idioma*. Por esta razão os termos “ppb” e “ppt” devem ser evitados. (Nos países de língua inglesa atualmente o termo “bilhão” corresponde a 10^9 e o termo “trilhão” a 10^{12} . Entretanto, o termo bilhão pode ainda ser interpretado como 10^{12} e o trilhão como 10^{18} . A abreviação “ppt” também é às vezes interpretada como uma parte por mil - *parts per thousand* - gerando mais confusão).

Quando se utilizam os termos %, “ppm”, etc., é importante declarar a grandeza adimensional cujo valor está sendo especificado.

$X_B = 0,0025 = 0,25 \%$,
onde X_B é o símbolo
da grandeza fração da
quantidade (fração
molar) da entidade B.

O espelho reflete
95 % dos fótons
incidentes.

$\phi = 3,6 \%$, **mas não**,
 $\phi = 3,6 \%$ (V/V), onde
 ϕ é a fração
volúmica.

$X_B = 2,5 \times 10^{-3}$
= 2,5 mmol/mol

$u_r(U) = 0,3 \mu\text{V/V}$,
onde $u_r(U)$ é a
incerteza relativa da
tensão medida U .

*N.T.: Parte por bilhão (ppb) e parte por trilhão (ppt), respectivamente 10^{-9} e 10^{-12} , são os valores usados no Brasil.

Anexo 1. As decisões da CGPM e do CIPM

Este anexo compreende as decisões da CGPM e do CIPM que se referem diretamente às definições das unidades SI, aos prefixos utilizados com o SI e, também, às convenções relativas à grafia dos símbolos das unidades e dos números. Ele não é uma lista completa das decisões da CGPM e do CIPM. Para se consultar todas essas decisões, é necessário fazer referência aos volumes sucessivos dos *Comptes Rendus* das sessões da CGPM (CR) e dos *Procès-Verbaux* do CIPM (PV), bem como, para decisões recentes, à revista *Metrologia*.

O SI não é estático, ele acompanha o progresso da metrologia, portanto, certas decisões são revogadas ou modificadas; outras podem ter sido esclarecidas por meio de complementações. As decisões que foram objeto de uma modificação estão identificadas por meio de um asterisco (*) que conduz a uma nota de rodapé que faz referência à decisão que oficializou essa modificação.

O texto original das decisões está redigido com uma fonte diferente para distingui-lo do texto principal. Os asteriscos e notas foram incluídos pelo BIPM para tornar o texto mais compreensivo. Eles não fazem parte das decisões propriamente ditas.

As decisões da CGPM e do CIPM são apresentadas, neste anexo, em ordem cronológica de 1889 a 2005 para preservar a continuidade com que foram tomadas. Todavia, para facilitar a localização das decisões relativas a um assunto particular, foi feita uma tabela índice ordenada por assunto, indicando as reuniões durante as quais essas decisões foram adotadas e com o número das páginas onde estão reproduzidas as publicações originais.

Índice de assuntos do anexo 1

Decisões relativas ao estabelecimento do SI		pág.
9 ^a CGPM, 1948:	decisão de estabelecer o SI	56
10 ^a CGPM, 1954:	decisão de adotar as seis primeiras unidades de base	59
CIPM, 1956:	decisão de adotar o nome Sistema Internacional de Unidades	59
11 ^a CGPM, 1960:	confirma o nome e abreviações SI nomes dos prefixos “tera” a “pico” estabelece as unidades suplementares “rad” e “sr” estabelece uma lista de unidades derivadas.	60
CIPM, 1969:	declarações relativas às unidades de base, suplementares, derivadas e coerentes, e utilização dos prefixos	67
CIPM, 2001:	“Unidades SI” e “Unidades do SI”	79
 Decisões relativas às Unidades de base do SI		
Comprimento		
1 ^a CGPM, 1889:	sanção do protótipo do metro	54
7 ^a CGPM, 1927:	definição do metro pelo protótipo internacional	55
11 ^a CGPM, 1960:	redefinição do metro por meio de realização do criptônio 86	60
15 ^a CGPM, 1975:	recomenda o valor da velocidade da luz	69
17 ^a CGPM, 1983:	redefinição do metro em função da velocidade da luz, realização prática da definição do metro	73
CIPM, 2002:	revisão da realização prática do metro	79
CIPM, 2003:	revisão da lista das radiações recomendadas	81
CIPM, 2005:	revisão da lista das radiações recomendadas	82
 Massa		
1 ^a CGPM, 1889:	sanção do protótipo do kilograma	54
3 ^a CGPM, 1901:	declaração sobre a diferença entre massa e peso e sobre valor convencional de g_n	54
CIPM, 1967:	declaração sobre prefixos do grama	64
21 ^a CGPM, 1999:	redefinição eventual do kilograma	76
 Tempo		
CIPM, 1956:	definição do segundo como a fração do ano trópico 1900	59
11 ^a CGPM, 1960:	ratifica a definição do segundo dada pela CIPM em 1956	60
CIPM, 1964:	declara que o padrão a ser utilizado é a transição hiperfina césio 133	63
12 ^a CGPM, 1964:	dá atribuição ao CIPM de designar os padrões de frequência atômica e molecular a serem utilizados	63

13 ^a CGPM, 1967/68:	define o segundo por meio de transição do césio	65
CCDS, 1970:	define o tempo atômico internacional, TAI	68
14 ^a CGPM, 1971:	solicita ao CIPM definir e estabelecer o tempo atômico internacional, TAI	68
15 ^a CGPM, 1975:	sanciona o tempo universal coordenado, TUC (em inglês UTC)	69

Unidades elétricas

CIPM, 1946:	define as unidades mecânicas e elétricas no SI	55
14 ^a CGPM, 1971:	adota o nome “siemens”, símbolo: S para a condutância elétrica	68
18 ^a CGPM, 1987:	ajustes vindouros às representações do volt e do ohm	74
CIPM, 1988:	efeito Josephson	75
CIPM, 1988:	efeito Hall quântico	75
CIPM, 2000:	realização do ohm por meio do valor da constante de von Klitzing	78

Temperatura termodinâmica

9 ^a CGPM, 1948:	adota o ponto triplo da água como ponto de referência para a temperatura termodinâmica, adota o grau Celsius e fixa o zero como sendo a temperatura de referência inferior de 0,01 grau daquele do ponto triplo de água	56
CIPM, 1948:	adota o nome “grau Celsius” para a escala de temperatura Celsius	57
10 ^a CGPM, 1954:	define temperatura termodinâmica do ponto triplo da água a 273,16 graus Kelvin exatamente, define a atmosfera normal	59
13 ^a CGPM, 1967/68:	define oficialmente o kelvin, símbolo K	65
CIPM, 1989:	escala internacional de temperatura de 1990 (EIT – 90)	76
CIPM, 2005:	nota incorporada à definição do kelvin a propósito da composição isotópica da água	82

Quantidade de substância

14 ^a CGPM, 1971:	definição do mol, símbolo mol, como a 7 ^a unidade de base, e regras de sua utilização	68
21 ^a CGPM, 1999:	adota o nome especial katal, símbolo kat	77

Intensidade luminosa

CIPM, 1946:	definição das unidades fotométricas, vela nova e lúmen novo	55
-------------	---	----

13 ^a CGPM, 1967/68: define a candela, símbolo cd, em função do corpo negro	65
16 ^a CGPM, 1979: redefine a candela a partir de uma radiação monocromática	71

Decisões relativas às unidades SI derivadas e às unidades suplementares

Unidades SI derivadas

12 ^a CGPM, 1964: aceita continuar o uso do curie como unidade fora do SI	63
13 ^a CGPM, 1967/68: dá exemplos de unidades derivadas	65
15 ^a CGPM, 1975: adota o nome especial becquerel, símbolo Bq e gray, símbolo Gy	69
16 ^a CGPM, 1979: adota o nome especial sievert, símbolo Sv	71
CIPM, 1984: decide esclarecer as relações entre a dose absorvida (unidade SI gray) e o equivalente de dose (unidade SI sievert)	74
CIPM, 2002: modifica as relações entre a dose absorvida e o equivalente de dose	79

Unidades suplementares

CIPM, 1980: decide interpretar as unidades suplementares como unidades derivadas sem dimensão	72
20 ^a CGPM, 1995: decide eliminar a classe das unidades suplementares e confirma a interpretação da CIPM segundo a qual essas unidades são unidades derivadas sem dimensão	77

Decisões relativas à terminologia e aprovação das unidades em uso com o SI

Prefixos SI

12 ^a CGPM, 1964: decide anexar femto e atto à lista de prefixos	63
15 ^a CGPM, 1975: decide anexar peta e exa à lista de prefixos	69
19 ^a CGPM, 1991: decide anexar zetta, zepto, yotta e yocto à lista de prefixos	76

Números e símbolos das unidades

9 ^a CGPM, 1948: decide as regras de grafia dos símbolos de unidades e números	56
--	----

Nomes de unidades

13 ^a CGPM, 1967/68: cancela a utilização do micron e da vela nova como unidades em uso com o SI	65
--	----

Símbolo decimal

22 ^a CGPM, 2003:	decide autorizar o uso do ponto ou da vírgula, sobre a linha, como símbolo decimal	82
-----------------------------	--	----

Unidades em uso com o SI: um exemplo, o litro

3 ^a CGPM, 1901:	define o litro como o volume de 1 kg de água	54
11 ^a CGPM, 1960:	solicita ao CIPM estabelecer a diferença entre o decímetro cúbico e o litro	60
CIPM, 1961:	recomenda exprimir o volume em unidades SI e não em litros	63
CIPM, 1964:	cancela a definição anterior do litro e recomenda o uso do litro como nome especial dado ao decímetro cúbico	63
16 ^a CGPM, 1979:	decide, em caráter excepcional, autorizar os dois símbolos L e l para o litro.	71

1ª CGPM, 1889

■ Sanção dos protótipos internacionais do metro e do kilograma (CR 34-38)*

A Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando

- o “*Compte-Rendu* do Presidente do CIPM” e o “Relatório do CIPM ” que mostram que, graças aos cuidados conjuntos da Seção francesa da Comissão Internacional do Metro e do CIPM, as determinações metrológicas fundamentais dos protótipos internacionais e nacionais do metro e do kilograma foram executadas com todas as condições de garantia e de exatidão que comporta o estado atual da ciência;
- que os protótipos internacionais e nacionais do metro e do kilograma são constituídos de uma liga de platina com 10 por cento de irídio, com um erro de 0,0001;
- a igualdade no comprimento do metro internacional e a igualdade na massa do kilograma internacional com o comprimento do metro e a massa do kilograma depositados nos Arquivos de França;
- que as diferenças dos metros nacionais em relação ao metro internacional ficam dentro do limite de 0,01 milímetro, e que estas diferenças são baseadas numa escala termométrica de hidrogênio, que pode sempre ser reproduzida graças à estabilidade do hidrogênio, desde que se assegurem condições idênticas;
- que as diferenças dos kilogramas nacionais em relação ao kilograma internacional ficam dentro do limite de 1 milígrama;
- que o metro e o kilograma internacionais e que os metros e kilogramas nacionais atendem aos requisitos da Convenção do Metro;

sanciona

A. No que se refere aos protótipos internacionais:

1. O protótipo do metro escolhido pelo CIPM. Este protótipo, na temperatura de fusão do gelo, representará doravante a unidade métrica de comprimento.
2. O protótipo do kilograma adotado pelo CIPM. Este protótipo será considerado doravante como unidade de massa.
3. A escala centígrada do termômetro de hidrogênio em relação à qual foram estabelecidas as equações dos metros protótipos.

B. No que se refere aos protótipos nacionais:

. . .

3ª CGPM, 1901

■ Declaração relativa à definição do litro (CR, 38-39)*

. . .

A Conferência declara:

1. A unidade de volume, para determinações de alta precisão, é o volume ocupado pela massa de 1 kilograma de água pura em sua densidade máxima e sob pressão atmosférica normal; este volume é chamado de “litro”.
2. . . .

* A definição do metro foi revogada em 1960 pela 11ª CGPM (Resolução 6, ver pág.60)

* Esta definição foi revogada em 1964 pela 12ª CGPM (Resolução 6, ver pág. 64)

■ Declaração relativa à unidade de massa e à definição do peso; valor convencional de g_n (CR,70)

Tendo em conta a decisão do CIPM de 15 de outubro de 1887, segundo o qual o quilograma foi definido como unidade de massa;

Tendo em conta a decisão contida na sanção dos protótipos do Sistema Métrico, aceita por unanimidade pela CGPM em sua reunião de 26 de setembro de 1889;

Considerando a necessidade de se acabar com a ambiguidade ainda existente na prática corrente com respeito ao significado da palavra “peso”, empregada ora no sentido de *massa*, ora no sentido de *esforço mecânico*;

A Conferência declara:

1. O quilograma é a unidade de massa; ele é igual à massa do protótipo internacional do quilograma;
2. A palavra *peso* designa uma grandeza da mesma natureza que uma força; o peso de um corpo é o produto da massa deste corpo pela aceleração da gravidade; em particular, o peso normal de um corpo é o produto da massa deste corpo pela aceleração normal da gravidade;
3. O valor adotado no Serviço Internacional de Pesos e Medidas para a aceleração normal da gravidade é $980,665 \text{ cm/s}^2$, o valor já sancionado por diversas legislações.

Esse valor de g_n é o valor convencional de referência para cálculo da unidade quilograma-força atualmente abolida.

7ª CGPM, 1927

■ Definição do metro pelo protótipo internacional (CR, 49) *

A unidade de comprimento é o metro, definido pela distância, a 0° , entre os eixos dos dois traços médios gravados sobre a barra da liga de platina e irídio depositada no Bureau Internacional de Pesos e Medidas, e declarada protótipo do metro pela Primeira Conferência de Pesos e Medidas, estando essa régua submetida à pressão atmosférica normal e apoiada sobre dois rolos de, pelo menos, 1 centímetro de diâmetro, situados simetricamente num mesmo plano horizontal e à distância de 571 mm um do outro.

* A definição do metro foi revogada em 1960 pela 11ª CGPM (Resolução 6, ver pág. 60).

CIPM, 1946

■ Definição das unidades fotométricas (PV, 20, 119 - 122) *

Resolução

. . . .

4. As unidades fotométricas podem ser definidas como segue:

Vela nova (unidade de intensidade luminosa) — O valor da vela nova é tal que a brilhância do radiador integral à temperatura de solidificação da platina corresponda a 60 velas novas por centímetro quadrado.

Lúmen novo (unidade de fluxo luminoso) — O lúmen novo é o fluxo luminoso emitido no interior do ângulo sólido (unidade esferorradiano) por uma fonte puntiforme uniforme tendo a intensidade luminosa de 1 vela nova.

5. . . .

* As duas definições contidas nesta Resolução foram ratificadas pela 9ª CGPM (1948), que também aprovou o nome de candela dado à “vela nova” (CR, 54). Para o lúmen, o qualificativo “novo” foi abandonado. A definição da candela foi modificada pela 13ª CGPM (1967-1968, Resolução 5, ver pág. 66).

■ Definições das unidades elétricas (PV, 20, 132 - 133)*

Resolução 2

. . .

4. (A) Definições das unidades mecânicas utilizadas nas definições das unidades elétricas:

Unidade de força - A unidade de força [no Sistema MKS (metro, quilograma, segundo)] é a força que comunica a uma massa de 1 quilograma a aceleração de 1 metro por segundo, por segundo.

Joule (unidade de energia ou de trabalho) - O joule é o trabalho produzido quando o ponto de aplicação de 1 unidade MKS de força (newton) se desloca de uma distância igual a 1 metro na direção da força.

Watt (unidade de potência) - O watt é a potência que desenvolve uma produção de energia igual a 1 joule por segundo.

(B) Definições das unidades elétricas. O Comitê (internacional) admite as seguintes proposições que definem a grandeza teórica das unidades elétricas:

Ampere (unidade de intensidade de corrente elétrica) - O ampere é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível e situados no vácuo à distância de 1 metro um do outro, produziria entre esses condutores uma força igual a 2×10^{-7} unidade MKS de força (newton) por metro de comprimento.

Volt (unidade de diferença de potencial e de força eletromotriz) - O volt é a diferença de potencial elétrico que existe entre dois pontos de um fio condutor transportando uma corrente constante de 1 ampere, quando a potência dissipada entre esses pontos é igual a 1 watt.

Ohm (unidade de resistência elétrica) - O ohm é a resistência elétrica que existe entre dois pontos de um condutor quando uma diferença de potencial constante de 1 volt, aplicada entre esses dois pontos, produz, nesse condutor, uma corrente de 1 ampere, não tendo esse condutor nenhuma força eletromotriz.

Coulomb (unidade de quantidade de eletricidade) - O coulomb é a quantidade de eletricidade transportada em 1 segundo por uma corrente de 1 ampere.

Farad (unidade de capacitância) - O farad é a capacidade de um condensador elétrico entre as armaduras do qual se manifesta uma diferença de potencial elétrico de 1 volt, quando ele é carregado por uma quantidade de eletricidade igual a 1 coulomb.

Henry (unidade de indutância elétrica) - O henry é a indutância elétrica de um circuito fechado dentro do qual é produzida uma força eletromotriz de 1 volt quando a corrente elétrica que percorre o circuito varia uniformemente à razão de 1 ampere por segundo.

Weber (unidade de fluxo magnético) - O weber é o fluxo magnético que, atravessando um circuito de uma única espira, desenvolveria nele uma força eletromotriz de 1 volt se fosse reduzido a zero em 1 segundo em decréscimo uniforme.

* As definições contidas nessa Resolução foram aprovadas pela 9ª CGPM (CR, 49), que também adotou o nome newton (Resolução 7) para a unidade MKS de força.

9ª CGPM, 1948,

■ Ponto triplo da água; escala termodinâmica com um só ponto fixo; unidade de quantidade de calor (joule) (CR, 55 e 63)

Resolução 3

1. No estado atual da técnica, o ponto triplo da água é suscetível de constituir um marco termométrico com exatidão maior que o ponto de fusão do gelo.

Consequentemente, o Comitê Consultivo para Termometria - CCT (e Calorimetria) considera que o zero da escala termodinâmica centesimal deve ser definido como sendo a temperatura inferior em 0,0100 graus abaixo do ponto triplo da água pura.

2. O CCT admite o princípio de uma escala termodinâmica absoluta com apenas um único ponto fixo fundamental, atualmente constituído pelo ponto triplo da água pura, cuja temperatura absoluta será fixada posteriormente.

A introdução dessa nova escala não afeta em nada o emprego da Escala Internacional, que continua sendo a escala prática recomendada.

3. A unidade de quantidade de calor é o joule.

Nota: Solicita-se que os resultados das experiências calorimétricas sejam tanto quanto possível expressos em joules. Se as experiências forem feitas por comparação com o aumento da temperatura da água (e quando, por qualquer razão, não seja possível evitar o emprego da caloria), toda a informação necessária para a conversão para joules deverá ser fornecida. O CIPM, após parecer do CCT, fica encarregado de estabelecer uma tabela que apresente em joules por grau os valores mais exatos que possam ser obtidos a partir das experiências relativas à capacidade térmica (calor específico) da água.

Uma tabela preparada para atender a esta solicitação foi aprovada pelo CIPM em 1950 (PV, 22, 92).

■ Adoção do “grau Celsius” [CIPM, 1948 (PV, 21, 88) e 9ª CGPM, 1948, (CR,64)]

Dentre as três expressões (grau centígrado, grau centesimal e grau Celsius) propostas para exprimir o grau de temperatura, o CIPM escolheu grau Celsius (PV, 21, 88).

Esta denominação foi igualmente adotada pela 9ª CGPM (CR, 64).

■ Proposta para o estabelecimento de um sistema prático de unidades de medição (CR, 64)

Resolução 6

A Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando

- que o Comitê Internacional de Pesos e Medidas recebeu um pedido da União Internacional de Física, solicitando adotar para as relações internacionais um sistema prático internacional de unidades, recomendando o sistema MKS e uma unidade elétrica do sistema prático absoluto, sem todavia recomendar que o sistema CGS seja abandonado pelos físicos;
- que a CGPM recebeu do governo francês pedido semelhante acompanhado de um projeto destinado a servir como base de discussão para o estabelecimento da regulamentação completa das unidades de medida;

encarrega o CIPM:

- de realizar com esse objetivo uma pesquisa oficial sobre a opinião dos meios científicos, técnicos e pedagógicos de todos os países (oferecendo-lhes efetivamente o documento francês como base) e de promover ativamente;
- de centralizar as respostas;
- de emitir as recomendações atinentes ao estabelecimento de um único sistema prático de unidades de medida, suscetível de ser adotado em todos os países signatários da Convenção do Metro.

■ Grafia dos símbolos de unidades e dos números (CR, 70)*

Resolução 7

Princípios

Os símbolos das unidades são expressos em tipo romano, em geral minúsculo; todavia, se os símbolos forem derivados de nomes próprios, deve ser utilizado tipo romano maiúsculo. Esses símbolos não são seguidos de ponto.

A vírgula (modo brasileiro e francês) ou o ponto (modo britânico) são utilizados nos números somente para separar a parte inteira de sua parte decimal. A fim de facilitar a leitura, os números podem ser repartidos em grupos de três algarismos cada um; estes grupos nunca são separados por pontos ou por vírgulas.

*A Conferência Geral revogou um certo número de decisões relativas às unidades e à terminologia, em especial aquelas relativas ao micron, ao grau absoluto e aos termos "grau" e "deg" (13ª CGPM, 1967-1968, Resoluções 7 e 3, ver págs. 67 e 65 respectivamente) e ao litro (16ª CGPM, 1979, Resolução 6, ver pág. 72)

Unidades	Símbolo	Unidades	Símbolo
• metro	m	ampere	A
• metro quadrado	m ²	volt	V
• metro cúbico	m ³	watt	W
• micron	μ	ohm	Ω
• litro	l	coulomb	C
• grama	g	farad	F
• tonelada	t	henry	H
segundo	s	hertz	Hz
erg	erg	poise	P
dina	dyn	newton	N
grau Celsius	°C	• candela (vela nova)	cd
• grau absoluto	°K	lux	lx
caloria	cal	lúmen	lm
bar	bar	stilb	sb
hora	h		

Notas:

1. Os símbolos cujos nomes das unidades são precedidos de um ponto correspondem aos que já haviam sido adotados anteriormente por decisão do CIPM.

2. A unidade de volume estéreo, unidade de medida de volume empregada para lenha*, terá por símbolo "st" e não mais "s", como o CIPM tinha atribuído anteriormente.

3. Um intervalo ou uma diferença de temperatura deve ser indicado pela palavra "grau" por extenso (em francês ou inglês, que têm as palavras *degré* ou *degree* respectivamente, também pode ser empregada a abreviatura "deg").

*N.T.: Equivalente a um metro cúbico.

10ª CGPM, 1954

■ Definição da escala termodinâmica de temperatura (CR, 79)*

Resolução 3

A 10ª Conferência Geral de Pesos e Medidas decide definir a escala termodinâmica de temperatura por meio do ponto triplo da água como ponto fixo fundamental, atribuindo-lhe a temperatura de 273,16 graus Kelvin, exatamente.

* A 13ª CGPM 1967/68 (Resolução 4, ver pág. 66) definiu explicitamente o kelvin.

■ Definição da atmosfera normal (CR, 79)

Resolução 4

A 10ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, havendo constatado que a definição da atmosfera normal estabelecida pela 9ª CGPM na definição da Escala Internacional de Temperatura induziu alguns físicos a pensarem que a validade daquela definição da atmosfera normal estava limitada às necessidades da termometria de precisão,

declara que adota, para todos os usos, a definição:

1 atmosfera normal = 1 013 250 dinas por centímetro quadrado,
isto é, 101 325 newtons por metro quadrado.

■ Sistema prático de unidades de medida, (CR, 80)*

Resolução 6

A 10ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, conforme voto expresso na Resolução 6 da 9ª CGPM sobre o estabelecimento de um sistema prático de unidades de medida para as relações internacionais,

decide adotar como unidades de base deste sistema a ser estabelecido as unidades seguintes:

* O nome da unidade de temperatura termodinâmica foi trocado por kelvin em 1967 pela 13ª CGPM (Resolução 3, ver pág. 65)

comprimento	metro
massa	kilograma
tempo	segundo
intensidade de corrente elétrica	ampere
temperatura termodinâmica	grau Kelvin
intensidade luminosa	candela

CIPM, 1956

■ Definição da unidade de tempo (segundo) (PV 25, 77)*

Resolução 1

Em virtude dos poderes que foram conferidos pela 10ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, através da sua Resolução 5, o Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

considerando:

1. que a 9ª Assembléia Geral da União Astronômica Internacional (Dublin, 1955) emitiu parecer favorável ao relacionamento do segundo com o ano trópico;
2. que, de acordo com as decisões da 8ª Assembléia Geral da União Astronômica Internacional (Roma, 1952), o segundo do tempo das efemérides (T.E.) é a fração:

* Definição revogada em 1967 (13ª CGPM, Resolução 1, ver pág. 65).

$$\frac{12\,960\,276\,813}{408\,986\,496} \times 10^{-9} \text{ do ano trópico para 1900 janeiro 0 às 12 h T.E.}$$

decide:

“O segundo é a fração $1/31\,556\,925,9747$ do ano trópico para 1900 janeiro 0 às 12 horas do tempo das efemérides.”

■ Sistema Internacional de Unidades (PV, 25, 83)**Resolução 3**

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

considerando:

- a missão de que foi incumbido pela 9ª CGPM na sua Resolução 6 atinente ao estabelecimento de um sistema prático de unidades de medida suscetível de ser adotado por todos os países signatários da Convenção do Metro;
- o conjunto de documentos enviados pelos 21 países que responderam ao inquérito prescrito pela 9ª CGPM ;
- a Resolução 6 da 10ª CGPM determinando a escolha das unidades de base do sistema a estabelecer;

recomenda:

1. que o sistema estabelecido sobre as unidades de base, enumeradas a seguir, adotadas pela 10ª CGPM, seja designado como “Sistema Internacional de Unidades”;

[segue-se a lista das unidades reproduzida no parágrafo 4 da Resolução 12 da 11ª CGPM (1960)].

2. que sejam utilizadas as unidades deste sistema, enumeradas na tabela seguinte, sem prejuízo de outras unidades, que poderão ser acrescentadas posteriormente:

[segue-se a tabela das unidades reproduzida no parágrafo 4 da Resolução 12 da 11ª CGPM (1960)].

11ª CGPM, 1960**■ Definição do metro (CR, 85)*****Resolução 6**

A 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando

- que o protótipo internacional não define o metro com precisão suficiente para as atuais necessidades da metrologia;
- que, de outra parte, é desejável adotar um padrão natural e indestrutível;

decide:

1. O metro é o comprimento igual a $1\,650\,763,73$ comprimentos de onda no vácuo da radiação correspondente à transição entre os níveis $2p_{10}$ e $5d_5$ do átomo do criptônio 86.
2. A definição do metro em vigor desde 1889, baseada no protótipo internacional liga metálica de platina-irídio, fica revogada.
3. O protótipo internacional do metro, sancionado pela Primeira Conferência Geral de Pesos e Medidas em 1889, será conservado no Bureau Internacional de Pesos e Medidas nas mesmas condições que foram estipuladas em 1889.

* Definição revogada em 1983 (17ª CGPM, Resolução 1, ver pág. 73).

■ Definição da unidade de tempo (segundo) (CR 86) *

Resolução 9

A 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando:

- os poderes conferidos pela 10ª CGPM ao CIPM, para tomar uma decisão a respeito da definição da unidade fundamental de tempo;
- a decisão tomada pelo CIPM em sua sessão de 1956:

ratifica a seguinte definição:

“O segundo é a fração $1/31\,556\,925,9747$ do ano trópico para 1900 janeiro 0 às 12 horas do tempo das efemérides.”

* Definição revogada em 1967 (13ª CGPM, Resolução 1, ver pág. 65).

■ Sistema Internacional de Unidades (CR, 87)*

Resolução 12

A 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando:

- a Resolução 6 da 10ª CGPM pela qual ela adotou as seis unidades que devem servir de base ao estabelecimento de um sistema prático de medida para as relações internacionais:

comprimento	metro	m
massa	kilograma	kg
tempo	segundo	s
intensidade de corrente elétrica	ampere	A
temperatura termodinâmica	grau Kelvin	°K
intensidade luminosa	candela	cd

* Mais tarde a CGPM revogou algumas de suas decisões e estendeu a lista dos prefixos: veja as notas abaixo.

Nome e símbolo da unidade de temperatura termodinâmica foram modificados em 1967 (13ª CGPM, Resolução 3, ver pág. 65).

- a Resolução 3 adotada pelo CIPM em 1956;
- as recomendações adotadas pelo CIPM em 1958, a respeito da abreviatura do nome daquele sistema e dos prefixos para a formação dos múltiplos e submúltiplos das unidades;

decide:

1. o sistema estabelecido sobre as seis unidades de base anteriores é designado pelo nome de “Sistema Internacional de Unidades”;
2. a abreviatura internacional do nome deste Sistema é: SI;
3. os nomes dos múltiplos e submúltiplos das unidades são formados mediante os seguintes prefixos:

Uma sétima unidade de base, o mol, foi adotada em 1971 pela 14ª CGPM (Resolução 3, ver pág. 69).

Fator multiplicativo	Prefixo	Símbolo	Fator multiplicativo	Prefixo	Símbolo
$1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$	tera	T	$0,1 = 10^{-1}$	deci	d
$1\,000\,000\,000 = 10^9$	giga	G	$0,01 = 10^{-2}$	centi	c
$1\,000\,000 = 10^6$	mega	M	$0,001 = 10^{-3}$	mili	m
$1\,000 = 10^3$	kilo	k	$0,000\,001 = 10^{-6}$	micro	μ
$100 = 10^2$	hecto	h	$0,000\,000\,001 = 10^{-9}$	nano	n
$10 = 10^1$	deca	da	$0,000\,000\,000\,001 = 10^{-12}$	pico	p

Quatro novos prefixos foram adotados pela 12ª CGPM em 1964, (Resolução 8, ver pág. 66), pela 15ª CGPM em 1975 (Resolução 10, ver pág. 70) e pela 19ª CGPM em 1991, (Resolução 4, ver pág. 76).

4. as unidades a seguir são utilizadas nesse Sistema, sem prejuízo de outras unidades que poderão ser acrescentadas futuramente.

Unidades suplementares

ângulo plano	radiano	rad
ângulo sólido	esferorradiano	sr

Em 1995, a 20ª CGPM revogou a classe de unidades suplementares no SI (Resolução 8, ver pág. 77). Elas agora são consideradas como unidades derivadas.

Unidades derivadas

área	metro quadrado	m ²	
volume	metro cúbico	m ³	
frequência	hertz	Hz	1/s
massa específica (densidade)	kilograma por metro cúbico	kg/m ³	
velocidade	metro por segundo	m/s	
velocidade angular	radiano por segundo	rad/s	
aceleração	metro por segundo quadrado	m/s ²	
aceleração angular	radiano por segundo quadrado	rad/s ²	
força	newton	N	kg · m/s ²
pressão (tensão mecânica)	newton por metro quadrado	N/m ²	
viscosidade cinemática	metro quadrado por segundo	m ² /s	
viscosidade dinâmica	newton segundo por metro quadrado	N · s/m ²	
trabalho, energia, quantidade de calor	joule	J	N · m
potência	watt	W	J/s
quantidade de eletricidade	coulomb	C	A · s
tensão elétrica, diferença de potencial, força eletromotriz	volt	V	W/A
intensidade de campo elétrico	volt por metro	V/m	
resistência elétrica	ohm	Ω	V/A
capacitância elétrica	farad	F	A · s/V
fluxo de indução magnética	weber	Wb	V · s
indutância	henry	H	V · s/A
indução magnética	tesla	T	Wb/m ²
intensidade de campo magnético	ampere por metro	A/m	
força magnetomotriz	ampere	A	
fluxo luminoso	lúmen	lm	cd · sr
luminância	candela por metro quadrado	cd/m ²	
iluminância	lux	lx	lm/m ²

Em 1967 a 13ª CGPM (Resolução 6, ver pág. 66) especificou outras unidades que deveriam ser acrescentadas a esta lista. Em princípio, esta lista de unidades derivadas não tem limites.

■ Decímetro cúbico e litro (CR, 88):

Resolução 13

A 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando:

- que o decímetro cúbico e o litro não são iguais, existindo entre eles uma diferença da ordem de 28 milionésimos;

- que as determinações de grandezas físicas envolvendo medições de volume requerem uma exatidão cada vez mais apurada, o que agrava as consequências de uma possível confusão entre o decímetro cúbico e o litro;

convida o Comitê Internacional de Pesos e Medidas a estudar este problema e apresentar suas conclusões à 12ª CGPM

CIPM, 1961

■ Decímetro cúbico e litro (PV, 29, 34)

Recomendação

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas recomenda que os resultados das medições precisas de volume sejam expressos em unidades do Sistema Internacional, e não em litros.

CIPM, 1964

■ Padrões de frequência atômicos e moleculares (PV, 32, 26 e CR 93)

Declaração

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

autorizado pela Resolução 5 da 12ª CGPM a designar os padrões atômicos ou moleculares de frequência a serem utilizados temporariamente para as medições de intervalo de tempo,

declara que o padrão a ser utilizado é a transição entre os níveis hiperfinos $F = 4$, $M = 0$ e $F = 3$, $M = 0$ do estado fundamental $^2S_{1/2}$ do átomo do césio 133 não perturbado por campos externos, e que é atribuído o valor 9 192 631 770 hertz à frequência desta transição.

12ª CGPM, 1964

■ Padrão atômico de frequência (CR, 93)

Resolução 5

A 12ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando:

- que a 11ª CGPM salientou na sua Resolução 10 a urgência, para os fins da metrologia de precisão, de se adotar um padrão atômico ou molecular de intervalo de tempo;
- que a despeito dos resultados já obtidos com os padrões de frequência atômicos de césio ainda não é o momento para a CGPM adotar uma nova definição do segundo, unidade de base do Sistema Internacional de Unidades, em razão dos novos e consideráveis progressos que podem ser alcançados a partir dos trabalhos em curso;

considerando também que não se deve mais esperar para basear as medidas de tempo na física em padrões de frequência atômicos ou moleculares,

autoriza o CIPM a designar os padrões de frequência atômicos ou moleculares a serem usados temporariamente;

solicita às organizações e laboratórios especializados neste domínio a prosseguirem os estudos relacionados a uma nova definição do segundo.

■ Litro (CR, 93)

Resolução 6

A 12ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando a Resolução 13 adotada pela 11ª CGPM, em 1960, e a Recomendação adotada pelo CIPM em 1961,

1. **revoga** a definição do litro dada em 1901 pela terceira CGPM;
2. **declara** que a palavra “litro” pode ser utilizada como nome especial aplicado ao decímetro cúbico;
3. **recomenda** que o nome litro não seja utilizado para exprimir resultados de medições de volume de alta precisão.

■ Curie (CR,94)*

Resolução 7

A 12ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando que há muito tempo o curie é utilizado em numerosos países como unidade de atividade dos radionuclídeos;

reconhecendo que no Sistema Internacional de Unidades (SI) a unidade dessa atividade é o segundo elevado à potência menos um (s^{-1});

admite que o curie ainda seja conservado como unidade de atividade não pertencente ao Sistema Internacional, com o valor $3,7 \times 10^{10} s^{-1}$. O símbolo desta unidade é Ci.

* O nome “becquerel” (Bq) foi adotado pela 15ª CGPM em 1975 (Resolução 8, ver pág. 70) para a unidade SI de atividade
 $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$.

■ Prefixos SI femto e atto (CR, 94) *

Resolução 8

A 12ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

decide acrescentar à lista de prefixos para a formação dos nomes de múltiplos e submúltiplos das unidades, adotadas pela 11ª CGPM, Resolução 12, parágrafo 3, os dois novos prefixos seguintes:

* Novos prefixos foram adotados pela 15ª CGPM em 1975 (Resolução 10, ver pág. 70).

Fator multiplicador	Prefixo	Símbolo
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

CIPM, 1967,

■ **Múltiplos e submúltiplos decimais da unidade de massa** (PV, 35, 29 e *Metrologia*, 1968, 4, 45)

Recomendação 2

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

considerando que a regra de formação dos nomes para os múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do parágrafo 3 da Resolução 12 da 11ª CGPM (1960) pode dar lugar a interpretações divergentes quando aplicadas à unidade de massa,

declara que as disposições da Resolução 12 da 11ª CGPM aplicam-se ao quilograma do modo seguinte: os nomes dos múltiplos e submúltiplos decimais da unidade de massa são formados pela adição dos prefixos à palavra “grama”.

13ª CGPM, 1967-1968,

■ Unidade de tempo do SI (segundo) (CR, 103 e *Metrologia*, 1968, 4, 43)

Resolução 1

A 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando:

- que a definição do segundo adotada pelo CIPM em sua reunião de 1956 (Resolução 1), ratificada pela Resolução 9 da 11ª CGPM (1960), posteriormente confirmada pela Resolução 5 da 12ª CGPM (1964), é insuficiente para as atuais necessidades da metrologia;
- que na sua sessão de 1964 o CIPM, autorizado pela Resolução 5 da 12ª CGPM (1964), recomendou a utilização temporária de um padrão de frequência atômico de césio para atender a essas necessidades;
- que atualmente esse padrão de frequência foi suficientemente testado e possui precisão suficiente para permitir uma definição do segundo que atenda às necessidades atuais;
- que chegou o momento oportuno para substituir a definição ora em vigor, da unidade de tempo do Sistema Internacional de Unidades, por uma definição atômica baseada naquele padrão;

decide:

1. A unidade de tempo do SI é o segundo definido nos termos seguintes:

“O segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133”;

2. A Resolução 1 adotada pelo CIPM, em sua reunião de 1956, e a Resolução 9 da 11ª CGPM são revogadas.

O CIPM, na reunião de 1997, afirmou que esta definição se refere a um átomo de césio em repouso na temperatura termodinâmica de 0 K.

■ Unidade SI de temperatura termodinâmica (kelvin) (CR, 104 e *Metrologia*, 1968, 4, 43)*

Resolução 3

A 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando:

- os nomes “grau Kelvin” e “grau”, os símbolos “°K” e “deg” e as regras de seu emprego contidas na Resolução 7 da 9ª CGPM (1948), na Resolução 12 da 11ª CGPM (1960) e a decisão tomada pelo CIPM em 1962 (PV, 30, 27);
- que a unidade de temperatura termodinâmica e a unidade de intervalo de temperatura são uma mesma unidade, que deveria ser designada por um nome único e por um símbolo único;

decide:

1. a unidade de temperatura termodinâmica é designada pelo nome kelvin e seu símbolo é “K”;**
2. este mesmo nome e este mesmo símbolo são utilizados para exprimir um intervalo de temperatura;
3. um intervalo de temperatura também pode ser expresso em graus Celsius;

* Na reunião de 1980, o CIPM aprovou o relatório da 7ª reunião do CCU estabelecendo que o emprego dos símbolos “°K” e “deg” não são mais admitidos.

** Ver a Recomendação 2 (CI - 2005) do CIPM sobre a composição isotópica da água que entra na definição do kelvin, (pág. 82).

4. as decisões mencionadas no primeiro parágrafo das considerações a respeito do nome da unidade de temperatura termodinâmica, seu símbolo e a designação da unidade para exprimir um intervalo ou diferença de temperatura são revogadas, porém os usos decorrentes daquelas decisões continuam admitidos temporariamente.

■ **Definição da unidade SI de temperatura termodinâmica (kelvin)** (CR, 104 e *Metrologia*, 1968, 4, 43) *

Resolução 4

A 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando que é vantajoso dar uma redação mais explícita à definição da unidade de temperatura termodinâmica contida na Resolução 3 da 10ª CGPM (1954);

decide exprimir essa definição do modo seguinte:

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

* Ver recomendação 5 (CI - 1989) do CIPM relativa à Escala Internacional de Temperatura de 1990, (pág.75).

■ **Unidade SI de intensidade luminosa (candela)** (CR, 104 e *Metrologia*, 1968, 4, 43-44)*

Resolução 5

A 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando:

- A definição da unidade de intensidade luminosa ratificada pela 9ª CGPM (1948) e contida na “Resolução referente à mudança das unidades fotométricas” adotada pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas em 1946 (PV, 20, 119) em virtude dos poderes conferidos pela 8ª CGPM (1933);

- que esta definição determina satisfatoriamente a unidade de intensidade luminosa, porém sua redação admite críticas;

decide exprimir a definição da candela do modo seguinte:

“A candela é a intensidade luminosa, na direção perpendicular, de uma área de $1/600\,000$ metros quadrados de um corpo negro à temperatura de solidificação da platina sob pressão de $101\,325$ newtons por metro quadrado”.

* Esta definição foi revogada pela 16ª CGPM em 1979 (Resolução 3, ver pág.71).

■ **Unidades SI derivadas** (CR, 105 e *Metrologia*, 1968, 4, 44)*

Resolução 6

A 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando que é vantajoso incluir outras unidades derivadas na lista do parágrafo 4 da Resolução 12 da 11ª CGPM (1960).

* A unidade de atividade recebeu um nome especial e um símbolo particular na 15ª CGPM em 1975 (Resolução 8, ver pág. 70).

decide acrescentar àquela lista:

número de ondas	1 por metro	m^{-1}
entropia	joule por kelvin	J/K
capacidade térmica (calor específico)	joule por kilograma kelvin	J/(kg ·K)
condutividade térmica	watt por metro kelvin	W/(m ·K)
intensidade energética	watt por esferorradiano	W/sr
atividade (de uma fonte radioativa)	1 por segundo	s^{-1}

■ **Revogação de decisões anteriores (mícron, vela nova)** (CR, 105 e *Metrologia*, 1968, 4, 44)

Resolução 7

A 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando que decisões subsequentes da CGPM a respeito do Sistema Internacional de Unidades estão em contradição com algumas partes da Resolução 7 da 9ª CGPM (1948),

decide, em consequência, suprimir da Resolução 7 da 9ª CGPM:

1. O nome de unidade “mícron” e o símbolo “ μ ” que foi atribuído a esta unidade e que se tornou um prefixo;
2. O nome de unidade “vela nova”.

CIPM, 1969

■ **Sistema Internacional de Unidades, normas de aplicação da Resolução 12 da 11ª CGPM (1960)** (PV, 37, 30 e *Metrologia*, 1970, 6, 66)*

Recomendação 1

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

Considerando que a Resolução 12 da 11ª CGPM (1960), relativa ao Sistema Internacional de Unidades, deu origem a discussões a respeito de certas denominações,

declara:

1. As unidades de base, as unidades suplementares e as unidades derivadas do Sistema Internacional de Unidades, que constituem um conjunto coerente, são designadas pelo nome de “unidades SI”; **
2. Os prefixos adotados pela CGPM para a formação de múltiplos e submúltiplos decimais das unidades SI são chamados de “prefixos SI”;

e recomenda:

3. O emprego das unidades SI e de seus múltiplos e submúltiplos decimais, cujos nomes são formados por meio dos prefixos SI.

Nota: A designação “unidades suplementares” que figura na Resolução 12 da 11ª CGPM (e na presente Recomendação) é conferida às unidades SI para as quais a CGPM não decidiu se devem ser tratadas como unidades de base ou como unidades derivadas.

* A 20ª CGPM em 1995 decidiu revogar a classe de unidades suplementares no SI (Resolução 8, ver pág. 77).

** O CIPM aprovou em 2001 uma proposta do CCU para esclarecer a definição de “unidades SI” e “unidades do SI”, ver pág. 79.

CCDS, 1970 (In CIPM, 1970)

■ Definição do TAI (PV, 38, 110-111 e *Metrologia*, 1971, 7, 43)

Recomendação S 2

O Tempo Atômico Internacional (TAI) é a coordenada de referência de tempo estabelecida pelo Bureau Internacional da Hora com base nas indicações de relógios atômicos que operam em diferentes instituições de acordo com a definição do segundo, a unidade de tempo do Sistema Internacional de Unidades.

Em 1980, a definição do TAI foi completada como se segue (declaração do CCDS, BIPM Comitê Consultivo para Definição do Segundo, 1980, 9, S 15 e *Metrologia*, 1981, 17, 70):

O TAI é uma escala de tempo coordenado, definida num sistema de referência geocêntrico, tendo como unidade da escala o segundo do SI, realizado sobre o geóide em rotação.

Esta definição foi posteriormente ampliada pela União Astronômica Internacional (IAU) em 1991, Resolução A4: "TAI é uma escala de tempo realizada cuja forma ideal, desprezando uma constante de compensação de 32,184 s, é Tempo Terrestre (TT), ele mesmo relacionado ao tempo coordenado da estrutura de referência geocêntrica, Tempo Coordenado Geocêntrico (TCG), por uma taxa constante". (ver Proc. 21ª Assembleia Geral da IAU, IAU Trans, 1991, vol. XXIB, Kluwer).

14ª CGPM, 1971

■ Pascal e siemens (CR, 78):

A 14ª Conferência Geral de Pesos e Medidas adotou os nomes especiais "pascal" (símbolo Pa) para a unidade SI newton por metro quadrado e "siemens" (símbolo S) para a unidade SI de condutância elétrica (ohm elevado a potência menos um).

■ Tempo atômico internacional; Papel do CIPM (CR, 77 e *Metrologia*, 1972, 8, 35):

Resolução 1

A 14ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando:

- que o segundo, unidade de tempo do Sistema Internacional de Unidades, é definido desde 1967 em função de uma frequência atômica natural, e não mais em termos das escalas de tempo fornecidas por movimentos astronômicos,
- que a necessidade de uma escala de Tempo Atômico Internacional (TAI) é uma consequência da definição atômica do segundo,
- que várias organizações internacionais asseguraram e ainda asseguram com sucesso o estabelecimento das escalas de tempo baseadas em movimentos astronômicos, particularmente graças aos serviços permanentes do Bureau Internacional da Hora (BIH),
- que o BIH começou a estabelecer uma escala de tempo atômico cujas qualidades são reconhecidas e sua utilidade comprovada,
- que os padrões de frequência atômicos para a realização do segundo têm sido considerados e devem continuar a sê-lo pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas assessorado por um Comitê Consultivo, e que o intervalo unitário da escala de Tempo Atômico Internacional deve ser o segundo realizado conforme sua definição atômica,

- que todas as organizações científicas internacionais competentes e os laboratórios nacionais em atividade neste domínio expressaram o desejo de que o CIPM e a CGPM forneçam uma definição do Tempo Atômico Internacional, e contribuam para o estabelecimento da escala do Tempo Atômico Internacional,
- que a utilidade do Tempo Atômico Internacional necessita de uma coordenação estreita com as escalas de tempo baseadas em movimentos astronômicos,

solicita ao CIPM:

1. dar uma definição do Tempo Atômico Internacional;
2. tomar as providências necessárias, em harmonia com as organizações internacionais pertinentes, para assegurar que a competência científica disponível e as facilidades existentes sejam usadas da melhor maneira possível para realizar a escala de Tempo Atômico Internacional e para atender às necessidades dos usuários do Tempo Atômico Internacional.

A definição do TAI foi dada pelo CCDS em 1970 (atual CCTF), ver pág. 68.

■ **Unidade SI de quantidade de substância (mol)** (CR, 78 e *Metrologia*, 1972, 8, 36)*

Resolução 3

A 14ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando os pareceres da União Internacional de Física Pura e Aplicada, União Internacional de Química Pura e Aplicada, e da Organização Internacional de Normalização referentes à necessidade de se definir uma unidade de quantidade de substância,

decide:

1. O mol é a quantidade de substância de um sistema contendo tantas entidades elementares quanto átomos existentes em 0,012 quilograma de carbono 12. O seu símbolo é “mol”.
2. Quando se utiliza o mol as entidades elementares devem ser especificadas e podem ser átomos, moléculas, íons elétrons, outras partículas ou grupos especificados de tais partículas.
3. O mol é uma unidade de base do Sistema Internacional de Unidades.

* Em seu encontro de 1980, o CIPM aprovou o relatório da 7ª reunião do CCU (1980) especificando que, nesta definição, deve ser entendido que ela se refere a átomos livres de carbono 12, em repouso e em seu estado fundamental.

15ª CGPM, 1975

■ **Valor recomendado para a velocidade da luz** (CR, 103 e *Metrologia*, 1975, 11, 179 -180)

Resolução 2

A 15ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando a excelente concordância entre os resultados das medições do comprimento de onda das radiações dos lasers observados sobre uma raia de absorção molecular na região visível ou infravermelho, com uma incerteza estimada de $\pm 4 \times 10^{-9}$ que corresponde à incerteza da realização do metro,

considerando também as medições concordantes da frequência de várias destas radiações,

recomenda o emprego do valor resultante para a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo $c = 299\,792\,458$ metros por segundo.

A incerteza relativa declarada corresponde a três vezes o desvio padrão dos resultados considerados.

■ Tempo universal coordenado (UTC) (CR, 104 e *Metrologia*, 1975, **11**, 180)

Resolução 5

A 15ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando que o sistema chamado “Tempo Universal Coordenado” (UTC) é amplamente empregado, que ele é difundido na maior parte por radiotransmissão dos sinais da hora, que sua ampla difusão fornece aos usuários não apenas as frequências-padrão mas também o Tempo Atômico Internacional e uma aproximação do Tempo Universal (ou, se for preferido, o tempo solar médio),

constata que esse Tempo Universal Coordenado é a base do tempo civil, cujo uso é legal na maioria dos países,

decide que este emprego é perfeitamente recomendável.

■ Unidades SI para as radiações ionizantes (becquerel, gray) (CR, 105 e *Metrologia*, 1975, **11**, 180) *

Resoluções 8 e 9

A 15ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

em razão da urgência, expressa pela Comissão Internacional das Unidades de Medidas em Radiação (ICRU), no sentido de estender o uso do Sistema Internacional de Unidades às pesquisas e às aplicações da radiologia,

em razão da necessidade de tornar tão fácil quanto possível o uso das unidades aos não-especialistas,

tendo em conta também a gravidade dos riscos de erros em trabalhos terapêuticos,

adota o seguinte nome especial para a unidade SI de atividade:

becquerel, símbolo Bq, igual ao segundo elevado à potência menos 1 (Resolução 8),

adota o seguinte nome especial para a unidade SI das radiações ionizantes:

gray, símbolo Gy, igual ao joule por kilograma. (Resolução 9)

Nota: O gray é a unidade SI de dose absorvida. No domínio das radiações ionizantes, o gray também pode ser empregado com outras grandezas físicas que também são expressas em joules por kilograma; o Comitê Consultivo para Unidades está encarregado de estudar este assunto em colaboração com as organizações internacionais competentes.

* Na reunião de 1976, o CIPM aprovou o relatório da 5ª reunião do CCU (1976) especificando que, seguindo o conselho do ICRU, o gray também pode ser usado para expressar a energia específica transmitida e o índice de dose absorvida.

■ Prefixos SI peta e exa (CR, 106 e *Metrologia*, 1975, **11**, 180-181)*

Resolução 10

A 15ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

decide acrescentar à lista dos prefixos SI para formação dos nomes dos múltiplos das unidades, adotada pela 11ª CGPM, Resolução 12, parágrafo 3, os dois prefixos seguintes:

* Novos prefixos foram aprovados pela 19ª CGPM (Resolução 4, ver pág. 75).

Fator multiplicativo	Prefixo	Símbolo
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E

16ª CGPM, 1979

■ **Unidade SI de intensidade luminosa (candela)** (CR, 100 e *Metrologia*, 1980, **16**, 56)

Resolução 3

A 16ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando:

- que, apesar dos notáveis esforços de alguns laboratórios, ainda existem muitas divergências entre os resultados das realizações da candela, com o emprego do padrão primário de corpo negro,
- que as técnicas radiométricas se desenvolveram rapidamente, atingindo precisões equivalentes às da fotometria e que essas técnicas já são empregadas nos laboratórios nacionais para realizar a candela sem recorrer ao corpo negro,
- que a relação entre as grandezas luminosas da fotometria e as grandezas radiométricas, especialmente o valor 683 lumens por watt para eficácia luminosa espectral da radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz, foi adotada pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas em 1977,
- que este valor é aceito como sendo suficientemente exato para o sistema das grandezas luminosas fotópicas, e que ele se traduz por uma mudança de somente cerca de 3% para o sistema das grandezas luminosas escotópicas, e que ele consequentemente assegura uma continuidade satisfatória,
- que é o momento de se dar uma nova definição à candela capaz de melhorar a realização e a precisão dos padrões fotométricos e que seja aplicável às grandezas fotométricas fotópicas e escotópicas e às grandezas ainda a serem definidas no domínio mesópico,

decide:

1. A candela é a intensidade luminosa, numa direção dada, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e cuja intensidade radiante nessa direção é $1/683$ watt por esferorradiano.
2. Revogar a definição da candela (na época chamada vela nova) adotada pelo CIPM em 1946 em virtude da autoridade concedida pela 8ª CGPM em 1933, ratificada pela 9ª CGPM em 1948 e depois revista pela 13ª CGPM em 1967.

A visão fotópica é detectada pelos cones na retina do olho que são sensíveis a um nível alto de luminância ($L > 10 \text{ cd/m}^2$ aproximadamente) e são usados na visão diurna. A visão escotópica é detectada pelos bastonetes da retina sensíveis a um nível baixo de luminância ($L < 10^{-3} \text{ cd/m}^2$ aproximadamente) usados na visão noturna. No domínio entre estes níveis de luminância ambos cones e bastonetes são usados e isto é descrito como a visão mesópica.

■ **Nome especial da unidade SI de equivalente de dose (sievert)** (CR, 100 e *Metrologia*, 1980, **16**, 56)*

Resolução 5

A 16ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando:

- o esforço feito para introduzir as unidades SI no domínio das irradiações ionizantes,
- os riscos a que estão expostos os seres humanos submetidos a uma dose de radiação subestimada, riscos que podem resultar de uma confusão entre dose absorvida e equivalente de dose,
- que a proliferação de nomes especiais representa um perigo para o Sistema Internacional de Unidades e deve ser evitado na medida do possível, mas que esta regra pode ser transgredida quando se tratar de salvaguardar a saúde humana,

adota o nome especial **sievert**, símbolo Sv, para a unidade SI de equivalente de dose, no domínio da radioproteção. O sievert é igual ao joule por quilograma.

* O CIPM, em 1984, decidiu acompanhar esta Resolução com uma explicação (Recomendação 1, ver pág. 74).

■ **Símbolos do litro** (CR, 101 e *Metrologia*, 1980, **16**, 56-57):

Resolução 6

A 16ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

reconhecendo os princípios gerais adotados para a grafia dos símbolos das unidades na Resolução 7 da 9ª CGPM (1948),

considerando que o símbolo l para a unidade de litro foi adotado pelo CIPM em 1879 e confirmado na mesma Resolução de 1948,

considerando também que, para evitar a confusão entre a letra l e o algarismo 1, vários países adotam o símbolo L em vez de l para a unidade de litro,

considerando que o nome litro, mesmo não estando incluído no Sistema Internacional de Unidades, deve ser admitido para uso geral com o Sistema,

decide, a título excepcional, adotar os dois símbolos l e L como símbolos que podem ser utilizados para a unidade litro,

considerando que futuramente somente um desses símbolos deve permanecer,

convida o CIPM a examinar o emprego desses dois símbolos e informar à 18ª CGPM sua opinião sobre a possibilidade de eliminar um deles.

Em 1990, o CIPM considerou que ainda era cedo para escolher um único símbolo para o litro.

CIPM, 1980

■ **Unidades SI suplementares (radiano e esferorradiano)** (PV 48, 24 e *Metrologia*, 1981, **17**, 72):*

Recomendação 1

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas, levando em consideração a Resolução 3 adotada pelo ISO/TC 12 em 1978 e a Recomendação U1 (1980) adotada pelo Comitê Consultivo para Unidades em sua 7ª reunião,

considerando:

- que as unidades radiano e esferorradiano são introduzidas geralmente nas expressões das unidades por necessidade de clareza, especialmente na fotometria, onde o esferorradiano tem um papel importante para distinguir unidades que correspondem a grandezas diferentes,
- que nas equações utilizadas geralmente se exprime o ângulo plano como a relação entre dois comprimentos e o ângulo sólido como a relação entre uma área e o quadrado de um comprimento, e, por conseguinte, essas grandezas são tratadas como grandezas adimensionais,
- que o estudo dos formalismos usados no domínio científico mostra que não existe algo que seja simultaneamente coerente e convincente para que as grandezas ângulo plano e ângulo sólido possam ser consideradas como grandezas de base,

considerando também:

- que a interpretação feita pelo CIPM em 1969 para a classe das unidades suplementares introduzidas pela Resolução 12 da 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, em 1960, dá a liberdade de se tratar o radiano e o esferorradiano como unidades de base do Sistema Internacional,
- que esta possibilidade compromete a coerência interna do SI estabelecido com apenas sete unidades de base,

decide interpretar a classe das unidades suplementares no Sistema Internacional como uma classe de unidades derivadas, adimensionais, para as quais a CGPM admite a liberdade de serem utilizadas ou não nas expressões das unidades derivadas do SI.

* A classe das unidades SI suplementares foi abolida por decisão da 20ª CGPM em 1995 (Resolução 8, ver pág. 77).

17ª CGPM, 1983

■ Definição do metro (CR, 97 e *Metrologia*, 1984, 20, 2)

Resolução 1

A 17ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando:

- que a definição atual não permite uma realização do metro suficientemente precisa para todas as necessidades,
- que os progressos obtidos na estabilização dos lasers permitem obter radiações mais reprodutíveis e mais fáceis de utilizar do que a radiação padrão emitida por uma lâmpada de criptônio 86,
- que os progressos realizados nas medições das frequências e dos comprimentos de onda destas radiações resultaram em determinações concordantes da velocidade da luz, cuja exatidão é limitada principalmente pela realização do metro segundo sua atual definição,
- que os valores dos comprimentos de onda determinados a partir das medições de frequência e de um dado valor de velocidade da luz têm uma reprodutibilidade superior àquela que pode ser obtida por comparação com o comprimento de onda da radiação padrão do criptônio 86,
- que há vantagem, notadamente para a astronomia e para a geodésia, em manter inalterado o valor da velocidade da luz recomendado em 1975 pela 15ª CGPM na sua Resolução 2 ($c = 299\,792\,458\text{ m/s}$),
- que uma nova definição do metro foi encarada sob diversas formas, todas objetivando dar à velocidade da luz um valor exato, igual ao valor recomendado, sem que isso introduzisse qualquer descontinuidade apreciável na unidade de comprimento, considerando a incerteza relativa de $\pm 4 \times 10^{-9}$ das melhores realizações do metro pela sua atual definição,
- que estas formas diferentes, em referência ao trajeto percorrido pela luz num intervalo de tempo especificado ou ao comprimento de onda de uma radiação de frequência medida ou de frequência especificada, foram objeto de consultas e discussões profundas, que foram reconhecidas como equivalentes e que se chegou a um consenso em favor da primeira forma,
- que o Comitê Consultivo para a Definição do Metro (CCDM) atualmente está pronto para dar instruções para a realização prática de tal definição, instruções que poderiam incluir o emprego da radiação laranja do criptônio 86, utilizada como padrão até esta época, e que poderão ser completadas ou revistas futuramente,

A incerteza relativa declarada aqui corresponde a três vezes o desvio padrão dos dados considerados.

decide:

1. O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante um intervalo de tempo de $1/299\,792\,458$ do segundo.

2. Revogada a definição do metro em vigor desde 1960, baseada na transição entre os níveis $2p_{10}$ e $5d_5$ do átomo do criptônio 86.

■ Sobre a realização da definição do metro (CR, 98 e *Metrologia*, 1984, 20, 25-26)

Resolução 2

A 17ª Conferência Geral de Pesos e Medidas

convida o Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

- a estabelecer instruções para a realização prática da nova definição do metro,
- a escolher as radiações que possam ser recomendadas como padrões de comprimento de onda para a medição interferométrica de comprimento e a estabelecer as instruções para o seu emprego,
- a prosseguir os estudos efetuados para aperfeiçoar estes padrões.

Ver a Recomendação 1 (CI - 2002) do CIPM relativa à revisão da realização prática da definição do metro, pág. 79.

CIPM, 1984,**■ Sobre o sievert (PV, 52, 31 e *Metrologia*, 1985, 21, 90)*****Recomendação 1**

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

considerando a confusão que continua a existir a respeito da Resolução 5 aprovada pela 16ª CGPM (1979),

decide introduzir a seguinte explicação na publicação “Sistema Internacional de Unidades (SI)”:

A grandeza equivalente de dose H é o produto da dose absorvida D de radiação ionizante e de dois fatores adimensionais Q (fator de qualidade) e N (produto de quaisquer outros fatores multiplicativos), prescritos pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica.

$$H = Q \cdot N \cdot D.$$

Assim, para uma dada radiação, o valor numérico de H , em joules por kilograma, pode ser diferente do valor numérico de D em joules por kilograma, dependendo dos valores de Q e de N . Para evitar qualquer risco de confusão entre a dose absorvida D e o equivalente de dose H , é preciso empregar os nomes especiais para as unidades correspondentes, isto é, é necessário utilizar o nome gray no lugar de joule por kilograma para a unidade de dose absorvida D e o nome sievert no lugar de joule por kilograma para a unidade de equivalente de dose H .

* O CIPM em 2002 decidiu mudar a explicação da grandeza equivalente de dose na publicação do SI (Recomendação 2, ver pág. 78).

18ª CGPM, 1987**■ Ajustes vindouros às representações do volt e do ohm (CR 100 e *Metrologia*, 1988, 25, 115)****Resolução 6**

A 18ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando

- que a uniformidade mundial e a estabilidade a longo prazo das representações nacionais das unidades elétricas são da maior importância para a ciência, o comércio e a indústria, tanto sob o aspecto técnico quanto pelo aspecto econômico ,
- que muitos laboratórios nacionais usam o efeito Josephson e estão começando a usar o efeito Hall quântico para realizar, respectivamente, as determinações do volt e do ohm, na medida em que eles proporcionam melhores garantias de estabilidade a longo prazo,
- que devido à importância da coerência entre as unidades de medida das várias grandezas físicas os valores adotados para estas determinações devem ser tão próximos quanto possível de acordo com o SI,
- que os resultados de experiências recentes e em andamento permitirão o estabelecimento de um valor aceitável, suficientemente compatível com o SI, para o coeficiente que relaciona cada um desses efeitos à unidade elétrica correspondente,

convida os laboratórios cujos trabalhos possam contribuir para estabelecer o valor do quociente tensão/frequência, no caso do efeito Josephson, e o valor do quociente tensão/corrente, para o efeito Hall quântico, a se dedicarem ativamente a estes trabalhos e a comunicarem seus resultados sem demora ao Comitê Internacional de Pesos e Medidas e,

habilita o Comitê Internacional de Pesos e Medidas para recomendar, tão logo ele considere

possível, um valor para cada um destes quocientes e a data em que eles serão postos em prática simultaneamente em todos os países; estes valores devem ser anunciados no mínimo um ano antes e poderiam ser adotados em 1º de janeiro de 1990.

CIPM, 1988

■ **Representação do volt pelo efeito Josephson** (PV, 56, 19(fr) ou 44 (in) e *Metrologia*, 1989, 26, 69)

Recomendação 1

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

atuando de acordo com as instruções fornecidas na Resolução 6 da 18ª CGPM relativas ao ajuste previsto das determinações do volt e do ohm,

considerando

- que um estudo detalhado dos resultados das mais recentes determinações leva ao valor de 483 597,9 GHz/V para a constante de Josephson, K_J , isto é, o quociente frequência/tensão correspondente ao degrau $n = 1$ no efeito Josephson,
- que o efeito Josephson, junto com este valor de K_J , pode ser empregado para estabelecer um padrão de referência de força eletromotriz que tem uma incerteza (desvio padrão) em relação ao volt estimada em 4 partes em 10^{-7} e uma reprodutibilidade que é significativamente melhor,

recomenda

- que se adote, por convenção, para a constante Josephson, K_J , exatamente o valor $K_{J-90} = 483\,597,9 \text{ GHz/V}$,
- que este novo valor seja utilizado a partir de 1º de janeiro de 1990, e não antes, para substituir os valores atualmente em uso,
- que este novo valor seja utilizado, a partir desta mesma data, por todos os laboratórios que baseiam suas medições de força eletromotriz no efeito Josephson,
- que a partir desta mesma data todos os outros laboratórios ajustem o valor de seus padrões de referência para harmonizar - los com o novo valor adotado,

é da opinião que não será necessário mudar este valor recomendado para a constante de Josephson num futuro previsível e

chama a atenção dos laboratórios para o fato de que o novo valor é superior em 3,9 GHz/V, ou seja, aproximadamente 8×10^{-6} , em valor relativo, ao valor dado, em 1972, pelo Comitê Consultivo para Eletricidade na Declaração E-72.

■ **Representação do ohm por meio do efeito Hall quântico** (PV, 56, 20 (fr) ou 45 (in) e *Metrologia*, 1989, 26, 70)

Recomendação 2

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

atuando de acordo com as instruções dadas na Resolução 6 da 18ª CGPM a respeito das próximas representações do volt e do ohm,

considerando

- que a maioria dos padrões de referência dos laboratórios mudam significativamente com o tempo,
- que um padrão de referência de resistência elétrica baseado no efeito Hall quântico seria estável e reprodutível,
- que um estudo detalhado dos resultados das mais recentes determinações leva ao valor de $25\,812,807 \, \Omega$ para a constante de von Klitzing, R_K , isto é, para o quociente entre a diferença de potencial Hall e a corrente correspondente ao patamar $i = 1$ no efeito Hall quântico,

Na sua 89ª Reunião em 2000, o CIPM aprovou a declaração da 22ª Reunião do CCEM sobre o uso do valor da constante de von Klitzing, ver pág. 77.

- que o efeito Hall quântico, junto com o valor de R_K , pode ser usado para estabelecer um padrão de referência de resistência elétrica com uma incerteza (desvio padrão) estimada em 2 partes em 10^7 e uma reprodutibilidade que é significativamente melhor,

recomenda

- que seja adotado por convenção, para a constante de von Klitzing R_K , exatamente o valor $R_{K-90} = 25\,812,807\,\Omega$,
- que este novo valor seja usado a partir de 1º de janeiro de 1990, e não antes, por todos os laboratórios que baseiam suas medições de resistência elétrica no efeito Hall quântico,
- que a partir desta mesma data todos os outros laboratórios ajustem o valor de seus padrões de referência do laboratório para harmonizar com R_{K-90} ,
- que no uso do efeito Hall quântico para estabelecer um padrão de resistência elétrica de referência de um laboratório, os laboratórios sigam a edição mais recente das orientações técnicas para medições confiáveis da resistência Hall quantizada preparada pelo Comitê Consultivo para Eletricidade e publicada pelo BIPM, e

é da opinião que não será necessário mudar este valor recomendado para a constante de von Klitzing num futuro previsível.

CIPM, 1989

■ **A Escala Internacional de Temperatura de 1990** (PV, 57, 26 (fr) ou 115 (in) e *Metrologia*, 1990, 27, 13)

Recomendação 5

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas, agindo de acordo com a Resolução 7 da 18ª CGPM (1987), adotou a Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90), em substituição à Escala Prática Internacional de Temperatura de 1968 (EPIT-68).

O CIPM **observa** que, em comparação com a EPIT-68, a EIT-90

- se estende a temperaturas mais baixas, até 0,65 K e, conseqüentemente, também substitui a EPT-76,
- é consideravelmente mais concordante com as correspondentes temperaturas termodinâmicas,
- tem continuidade, precisão e reprodutibilidade em toda a sua faixa mais aperfeiçoadas,
- tem subfaixas e definições alternativas em certas faixas que facilitam enormemente sua utilização.

O CIPM também **observa** que o texto da EIT-90 será acompanhado de dois documentos, *Supplementary Information for the ITS-90* e *Techniques for Approximating the ITS-90*. Estes documentos serão publicados pelo BIPM e atualizados periodicamente.

O CIPM **recomenda**

- que a EIT-90 seja adotada em 1º de janeiro de 1990,
- que, nesta mesma data, sejam revogadas a EPIT-68 e a EPT-76.

19ª CGPM, 1991

■ **Prefixos zetta, zepto, yotta e yocto** (CR, 97 e *Metrologia* 1992, 29, 3)

Resolução 4

A 19ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM)

decide acrescentar à lista dos prefixos SI para formação dos nomes dos múltiplos e submúltiplos das unidades, adotada pela 11ª CGPM, Resolução 12, parágrafo 3, pela 12ª CGPM, Resolução 8, e pela 15ª CGPM, Resolução 10, os seguintes prefixos:

Fator multiplicativo	Prefixo	Símbolo
10^{21}	zetta	Z
10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y
10^{-24}	yocto	y

* Os nomes zepto e zetta derivam de septo, sugerindo o algarismo sete (sétima potência de 10^3), e a letra "z" substitui a letra "s" a fim de evitar duplicidade de uso da letra "s" como símbolo. Os nomes yocto e yotta são derivados de octo, sugerindo o algarismo oito (oitava potência de 10^3), e a letra "y" foi incluída a fim de evitar o uso da letra "o" como símbolo, por causa da possível confusão com o algarismo zero.

20ª CGPM, 1995

■ **Eliminação da classe de unidades suplementares no SI** (CR, 121 e *Metrologia*, 1996, **33**, 83)

Resolução 8

A 20ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando

- que a Resolução 12 da 11ª CGPM, em 1960, estabelecendo o Sistema Internacional de Unidades, SI, distinguiu três classes de unidades: unidades de base, unidades derivadas e unidades suplementares, compreendendo, esta última, apenas o radiano e o esferorradiano,
- que o status das unidades suplementares, em relação às unidades de base e às unidades derivadas, é susceptível de discussão,
- que o CIPM, em 1980, observando que o status ambíguo das unidades suplementares comprometia a coerência interna do SI, interpretou, na Recomendação 1 (CI-1980), as unidades suplementares no SI como unidades derivadas adimensionais,

aprovando a interpretação dada pelo CIPM, em 1980.

decide

- interpretar as unidades suplementares, no SI, isto é, o radiano e o esferorradiano, como unidades derivadas adimensionais, cujos nomes e símbolos podem ser utilizados, mas não necessariamente, nas expressões de outras unidades derivadas SI, conforme a necessidade,
- e, por conseguinte, eliminar a classe de unidades suplementares, como classe separada no SI.

21ª CGPM, 1999

■ **A definição do kilograma** (CR, 141-142 (fr) ou 331 (in) e *Metrologia*, 2000, **37**, 94)

Resolução 7

A 21ª Conferência Geral de Pesos e Medida,

considerando

- a necessidade de assegurar a estabilidade a longo prazo do Sistema Internacional de Unidades (SI),
- a incerteza intrínseca na estabilidade a longo prazo do protótipo que define a unidade de massa, uma das unidades de base do SI,
- que esta incerteza se propaga na estabilidade a longo prazo das outras três unidades de base do SI: o ampere, o mol e a candela, que dependem do kilograma,
- o progresso já obtido em diferentes experiências projetadas para unir a unidade de massa às constantes atômicas ou fundamentais,

- a vantagem em se ter mais de um método para se realizar esta união,

recomenda que os laboratórios nacionais continuem a trabalhar para refinar as experiências que liguem a unidade de massa às constantes fundamentais ou atômicas, com o objetivo de, futuramente, servir de base a uma nova definição do quilograma.

■ **Nome especial para unidade SI derivada mol por segundo, o katal, para expressar a atividade catalítica** (CR, 145 (fr) ou 334-335 (in) e *Metrologia*, 2000, 37, 95)

Resolução 12

A 21ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando

- a importância, para a saúde humana e a segurança, de se facilitar o emprego das unidades SI nos domínios da medicina e da bioquímica,
- que uma unidade fora do SI, chamada “unidade”, representada pelo símbolo U, que é igual a $1 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$ e que não é coerente com o SI, foi amplamente difundida na medicina e bioquímica, desde 1964, para exprimir a atividade catalítica,
- que a ausência de um nome especial para designar a unidade derivada e coerente do SI, mol por segundo, faz com que resultados de medições clínicas sejam expressos em diferentes unidades locais,
- que o uso das unidades SI na medicina e na química clínica é fortemente recomendado pelas uniões internacionais destas áreas,
- que a Federação Internacional de Química Clínica e Medicina Laboratorial solicitou ao Comitê Consultivo para Unidades recomendar o nome especial katal, símbolo kat, para a unidade SI mol por segundo,
- que, embora a proliferação de nomes especiais represente um perigo para o SI, devem ser feitas exceções para certos assuntos relacionados à saúde humana e à segurança (15ª CGPM, 1975, Resolução 8 e 9, 16ª CGPM, 1979, Resolução 5),

observando que o nome katal, símbolo kat, é utilizado para a unidade SI mol por segundo há mais de trinta anos, para exprimir a atividade catalítica,

decide adotar o nome especial katal, símbolo kat, para a unidade SI mol por segundo, para exprimir a atividade catalítica, especialmente nas áreas da medicina e da bioquímica,

e **recomenda** que, quando for utilizado o katal, seja especificado o mensurando, fazendo-se referência ao procedimento de medição; o procedimento de medição deve mencionar o produto indicador da reação medida.

CIPM, 2000

■ **“Utilização da constante de von Klitzing para exprimir o valor de um padrão de resistência elétrica de referência em função do efeito Hall quântico”** (PV, 68, 34 (fr) ou 101 (in))

Em sua 89ª sessão, em 2000, o CIPM aprovou a seguinte declaração da 22ª reunião do CCEM (CCEM, 22, 22)

“O CCEM, considerando o recente ajuste dos valores das constantes fundamentais, recomendado pelo CODATA, em 1998, estima que o valor da constante de von Klitzing (R_{K-90}) pode ser utilizado para exprimir o valor de um padrão de referência de resistência elétrica de em função do efeito Hall quântico, com uma incerteza relativa correspondente ao desvio padrão de 1×10^{-7} em relação ao ohm. Esta incerteza é a metade daquela admitida na recomendação de 1988.”

CIPM, 2001

■ “Unidades SI” e “Unidades do SI” (PV, 69, 38-39 (fr) ou 120 (in))

O CIPM aprovou em 2001 a seguinte proposta do CCU relativa às “unidades SI” e às “unidades do SI”:

“O CCU sugere que as expressões “unidades SI” e “unidades do SI” devem ser consideradas como nomes que se referem tanto às unidades de base e às unidades derivadas coerentes como também a todas as unidades obtidas através da combinação delas com os prefixos recomendados para os múltiplos e os submúltiplos.

Também sugere que a expressão “unidades do SI coerentes” deve ser utilizada quando for desejável restringir o significado somente para as unidades de base e as unidades derivadas coerentes.”

CIPM, 2002

■ Revisão da realização prática da definição do metro (PV, 70, 90-93 (fr) ou 194-204 (in) e *Metrologia*, 40, 103-133)

Recomendação 1

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

lembrando:

- que, em 1983, a 17^a CGPM adotou uma nova definição do metro;
- que, na mesma data, a CGPM convidou o CIPM
 - a elaborar instruções para a realização prática da nova definição do metro;
 - a escolher as radiações que pudessem ser recomendadas como padrões de comprimento de onda para a medição interferométrica de comprimento e elaborar instruções para o seu emprego;
 - a desenvolver estudos com vistas a aprimorar esses padrões e, em consequência, complementar ou revisar essas instruções;
- que, em resposta a essa solicitação, o CIPM adotou a Recomendação 1 (CI - 1983) (realização prática da definição do metro) com as seguintes consequências :
 - que o metro seja realizado por um dos métodos a seguir:
 - a) por meio do comprimento l do trajeto percorrido no vácuo por uma onda eletromagnética plana durante um intervalo de tempo t ; este comprimento é obtido a partir da medição do intervalo de tempo t , utilizando a relação $l = c_0 \cdot t$ onde o valor da velocidade da luz no vácuo é $c_0 = 299\,792\,458$ m/s;
 - b) por meio do comprimento de onda no vácuo λ de uma onda eletromagnética plana de frequência f ; este comprimento de onda é obtido a partir da medida da frequência f , utilizando a relação $\lambda = c_0 / f$ onde o valor da velocidade da luz no vácuo $c_0 = 299\,792\,458$ m/s;
 - c) por meio de uma das radiações da lista adiante, cujo comprimento de onda declarado no vácuo ou cuja frequência declarada pode ser empregada com a incerteza indicada, desde que sejam observadas as condições especificadas e a boa prática;
 - e que em todos os casos as correções necessárias sejam aplicadas para levar em consideração as condições reais, tais como difração, gravitação ou imperfeição do vácuo;
 - que, no contexto da relatividade geral, o metro seja considerado como uma unidade de comprimento própria. Então, sua definição só é válida numa extensão espacial suficientemente pequena, na qual os efeitos da não uniformidade do campo gravitacional podem ser ignorados (observe-se que, na superfície da Terra, este efeito na direção vertical é aproximadamente de 1 parte em 10^{16} por metro). Neste caso, os únicos efeitos considerados são os efeitos da relatividade restrita. Os métodos locais para realização do metro recomendado em b) e c) fornecem o metro certo, mas não necessariamente aquele do método recomendado em a). O método recomendado em a) deve, então, ser restrito a

comprimentos / suficientemente pequenos, para que os efeitos previstos pela relatividade geral sejam desprezíveis em relação às incertezas da realização. Se esse não for o caso, convém consultar o Relatório do Grupo de Trabalho do CCTF sobre aplicação da relatividade geral à metrologia para interpretação das medidas (Application of General Relativity to Metrology, *Metrologia*, 97, **34**, 261-290),

- que o CIPM recomendou uma lista de radiações com esse objetivo;

lembrando, também que, em 1992 e em 1997, o CIPM revisou a realização da definição do metro;

considerando

- que a ciência e a tecnologia continuam a requerer uma exatidão melhor na realização do metro;
- que, a partir de 1997, os trabalhos realizados nos laboratórios nacionais, no BIPM e em outros laboratórios permitiram identificar novas radiações e métodos para sua realização que conduzem a incertezas menores;
- que cresce mais e mais o uso das frequências ópticas nas atividades relacionadas ao tempo, e continua a aumentar o campo de aplicação de radiações recomendadas na realização prática, não só na metrologia dimensional e na realização do metro, mas também na espectroscopia de alta resolução, na física atômica e molecular, nas constantes fundamentais e nas telecomunicações;
- que atualmente já se dispõe de um certo número de novos valores mais exatos da incerteza das frequências das radiações de átomos e íons frios muito estáveis, já mencionados na lista de radiações recomendadas; que recentemente também foi medido o valor da frequência da radiação de várias espécies de átomos e íons frios e que os novos valores aperfeiçoados apresentam incertezas significativamente menores em padrões de frequência óptica baseados em células de gás que incluem a região de interesses das telecomunicações ópticas;
- que as novas técnicas de pentes de femtossegundos têm significação clara para relacionar a frequência dos padrões de frequência óptica de alta estabilidade àquela dos padrões de frequência empregados na realização do segundo do SI, e que estas técnicas representam uma técnica de medição conveniente para prover rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades (SI); e que a tecnologia dos pentes também pode prover fontes de frequência tanto como uma técnica de medição;

reconhece as técnicas de pente como oportunas e apropriadas e recomenda a continuação das pesquisas para investigar a capacidade da técnica em profundidade;

saúda o trabalho que está sendo realizado de validar as técnicas de pente de frequência por comparação com outras técnicas de cadeia de frequência;

convida os institutos nacionais de metrologia e outros laboratórios a se dedicarem à pesquisa da técnica de pente de frequência para alcançar o mais alto nível de exatidão possível e também a procurarem a simplicidade de modo a encorajar sua aplicação amplamente;

recomenda:

- que a lista de radiações recomendadas, feita pelo CIPM em 1997 (Recomendação 1, CI-1997) seja substituída pela lista de radiações dada a seguir*, que inclui;
 - valores atualizados da frequência dos átomos de cálcio e de hidrogênio frios e do íon capturado do estrôncio (Sr^+);
 - valor da frequência de novas espécies de íons frios, incluindo o íon capturado do mercúrio (Hg^+), o íon capturado do índio (In^+) e o íon capturado do itérbio (Yb^+);
 - valores atualizados da frequência de lasers estabilizados de rubídio (Rb), de lasers de ítrio-alumínio dopado com neodímio (Nd: YAG), de lasers de hélio-neônio (He-Ne) estabilizados a iodo (I_2), de lasers de (He-Ne) estabilizados a metano (CH_4) e de lasers de dióxido de carbono (CO_2) estabilizados a tetra-óxido de ósmio (OsO_4) em $10\ \mu\text{m}$,
 - valores de frequência de padrões importantes para as bandas de comunicações ópticas, compreendendo lasers estabilizados de rubídio (Rb) e gás etino (acetileno) (C_2H_2).

...

* A lista de radiações recomendadas, Recomendação 1 (CI-2002) encontra-se em PV, **70**, 93 – 101(fr) e em 197 - 204 (in) e em *Metrologia*, 2003, **40**, 104 – 115. As atualizações estão no sítio do BIPM no endereço www.bipm.org/fr/publications/mep.html.

■ Equivalente de dose (PV, 70, 102 (fr) ou 205 (in))

Veja também J. Radiol Prot. , 2005, **25**, 97 - 100.

Recomendação 2

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

considerando que

- a definição atual da unidade SI de equivalente de dose (sievert) compreende um fator “*N*” (produto de todos os outros fatores multiplicativos), prescrito pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (em inglês *ICRP*),
- a *ICRP* e a Comissão Internacional de Unidades de Medida de Radiação (em inglês *ICRU*) decidiram eliminar esse fator *N* que não é mais considerado necessário,
- a definição atual de equivalente de dose *H* no Sistema Internacional de Unidades, que inclui o fator *N*, provoca alguma confusão,

decide modificar a explicação da publicação “O Sistema Internacional de Unidades (SI)” , para o texto seguinte:

A grandeza equivalente de dose *H* é o produto da dose absorvida *D* de radiações ionizantes e o fator adimensional *Q* (fator de qualidade) definido pela *ICRU* como uma função de transferência linear de energia:

$$H = Q \cdot D.$$

Assim, para uma determinada radiação, o valor numérico de *H*, em joules por quilograma, pode ser diferente do valor de *D*, em joules por quilograma, em função do valor de *Q*.

Além disso o Comitê **decide** manter a última frase da explicação, da seguinte maneira:

A fim de evitar qualquer risco de confusão entre a dose absorvida *D* e o equivalente de dose *H*, devem ser utilizados os nomes especiais para as respectivas unidades, isto é, utilizar o nome gray, no lugar de joule por quilograma, para a unidade de dose absorvida *D*, e o nome sievert no lugar de joule por quilograma, para a unidade de equivalente de dose *H*.

CIPM, 2003

■ Revisão da lista de radiações recomendadas para a realização prática da definição do metro (PV, 71, 70 (fr) ou 146 (in) e *Metrologia*, 2004, **41**, 99 – 100)

As atualizações são disponibilizadas na página do BIPM no endereço www.bipm.org/fr/publications/mep.html.

Recomendação 1

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

considerando que

- melhores valores de frequência para radiações de padrões de íons frios de alta estabilidade já estão documentados e publicados na lista de radiações recomendadas;
- foram determinados melhores valores de frequência para padrões de frequência óptica no infravermelho, baseados em células de gás, na área das telecomunicações ópticas, já publicadas na lista de radiações recomendadas;
- foram realizadas recentemente, pela primeira vez, medições de frequência com a ajuda de pentes de femtossegundos em certos padrões baseados em células de gás iodine, que já figuram na lista complementar de radiações recomendadas, medições que conduzem a uma redução considerável da incerteza;

propõe que a lista de radiações recomendadas seja revista para incluir:

- os valores atualizados das frequências da transição quadripolar do íon capturado de $^{88}\text{Sr}^+$ e da transição octopolar do íon capturado de $^{171}\text{Yb}^+$;
- o valor da frequência atualizado do padrão estabilizado de C_2H_2 em 1,54 μm ;
- atualização dos valores de frequência dos padrões estabilizados a iodo em 543 nm e em 515 nm.

■ **Símbolo do separador decimal** (CR, 169 (fr) ou 381 (in) e *Metrologia*, 2004, 41, 104)

Resolução 10

A 22ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando que

- um dos principais objetivos do Sistema Internacional de Unidades (SI) é o de permitir exprimir o valor das grandezas de um modo facilmente compreensível no mundo inteiro,
- o valor de uma grandeza é normalmente expresso por um número multiplicado por uma unidade,
- frequentemente o número utilizado para exprimir o valor de uma grandeza contém vários algarismos, com uma parte inteira e uma parte decimal,
- a 9ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, Resolução 7 (1948) havia decidido que “nos números, a vírgula (usada no francês) ou o ponto (usado no inglês) são utilizados somente para separar a parte inteira dos números da parte decimal”,
- conforme decisão do Comitê Internacional na 86ª reunião (1997), atualmente o BIPM utiliza o ponto (sobre a linha) como separador decimal em todas as versões, em língua inglesa, de suas publicações, incluindo o texto da publicação SI (referência internacional definitiva do SI) e continua a utilizar a vírgula (sobre a linha) como separador decimal em todas as suas publicações em francês,
- contudo algumas organizações internacionais utilizam a vírgula sobre a linha, como separador decimal, em seus documentos em inglês,
- além disso, algumas organizações internacionais, inclusive organizações internacionais de normalização, especificam que o separador decimal deve ser a vírgula sobre a linha, em todas as línguas,
- em muitas línguas a recomendação de se utilizar a vírgula sobre a linha, como separador decimal, está em conflito com o uso corrente que consiste em utilizar o ponto sobre a linha,
- em algumas línguas tanto o ponto como a vírgula sobre a linha são empregados como separador decimal dependendo do país, ao passo que em alguns países com mais de uma língua nativa emprega-se um ou outro dependendo do idioma,

declara que o símbolo de separação decimal poderá ser o ponto sobre a linha ou a vírgula sobre a linha,

reafirma que “para facilitar a leitura os números podem ser divididos em grupos de três algarismos; esses grupos jamais devem ser separados por pontos ou por vírgulas, eles devem ser separados inserindo espaço entre os grupos”, como recomenda a Resolução 7 da 9ª Conferência Geral de Pesos e Medidas de 1948.

CIPM, 2005

■ **Esclarecimento sobre a definição do kelvin, unidade de temperatura termodinâmica** (PV, 94, em fase de impressão e *Metrologia*, 2006, 43, 177 – 178)

Recomendação 2

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

considerando

- que o kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é definido como a fração $1/273,16$ da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água,

- que a temperatura do ponto triplo da água depende da quantidade relativa de isótopos de hidrogênio e de oxigênio presentes na amostra da água utilizada,
- que esse efeito é atualmente uma das principais fontes de divergências observadas entre as diferentes realizações do ponto triplo da água,

decide:

- que a definição do kelvin se refira a uma água de composição isotópica especificada,
- que a composição isotópica da água seja a seguinte:

0,000 155 76 mol de ^2H por mol de ^1H ,
 0,000 379 9 mol de ^{17}O por mol de ^{16}O , e
 0,002 005 2 mol de ^{18}O por mol de ^{16}O ,

sendo esta a composição do material de referência da Agência Internacional de Energia Atômica “Viena Standard Mean Ocean Water (VSMOW)”, recomendada pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) no “Atomic Weights of the Elements: Review 2000”,

- que essa composição seja definida numa nota anexa à definição do kelvin, na publicação SI, da seguinte maneira:

“Esta definição se refere à água de composição isotópica definida pelas seguintes quantidades de substâncias: 0,000 155 76 mol de ^2H por mol de ^1H ; 0,000 379 9 mol de ^{17}O por mol de ^{16}O ; e 0,002 005 2 mol de ^{18}O por mol de ^{16}O ”.

■ Revisão da lista de radiações recomendadas para a realização prática da definição do metro (PV, 94, em fase de impressão e *Metrologia*, 2006, 43, 178)

Recomendação 3

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

considerando que

- já se dispõe de melhores valores de frequência para as radiações de determinados padrões de íons ou de átomos frios, muito estáveis, publicados na lista de radiações recomendadas;
- já se determinaram melhores valores de frequências dos padrões de frequência óptica, baseados em células de gás na região do infravermelho para telecomunicações ópticas, já publicados na lista complementar de radiações recomendadas;
- já se determinaram melhores valores de frequência de padrões de célula de gás iodine, já publicados na lista complementar de radiações recomendadas;
- pela primeira vez, já se realizaram medições da frequência de novos átomos frios, de átomos na região do infravermelho próximo e de moléculas na região das telecomunicações ópticas, por meio de pentes baseados em impulsões de femtossegundos;

decide que a lista de radiações recomendadas seja revista, para incluir:

- os valores atualizados das frequências de transição quadripolares do íon capturado $^{88}\text{Sr}^+$, do íon capturado $^{199}\text{Hg}^+$ e do íon capturado $^{171}\text{Yb}^+$;
- o valor atualizado da frequência de transição do átomo de cálcio;
- o valor atualizado da frequência do padrão estabilizado de C_2H_2 , acetileno, em 1,54 μm ;
- o valor atualizado da frequência do padrão estabilizado de iodo em 515 nm;
- a frequência de transição do átomo de ^{87}Sr em 698 nm;
- a frequência de transições do átomo de ^{87}Rb em torno de 760 nm;
- a frequência de transições da banda ($\nu_1 + \nu_3$) de $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ e das bandas ($\nu_1 + \nu_3$) e ($\nu_1 + \nu_3 + \nu_4 + \nu_5$) de $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ em torno de 1,54 μm .

Anexo 2. Realização prática das definições das principais unidades

O Anexo 2 foi publicado apenas sob a forma eletrônica no site do BIPM.
Este anexo está disponível no endereço: www.bipm.org/fr/si/si_brochure/appendix2/.

Anexo 3. Unidades para grandezas fotoquímicas e fotobiológicas

A radiação óptica pode produzir modificações químicas em certos materiais vivos ou inertes. Esta propriedade é chamada de actinismo e as radiações capazes de causar tais alterações são conhecidas pelo nome de radiações actínicas. A radiação actínica possui a propriedade fundamental de, em nível molecular, um fóton interagir com uma molécula para alterar ou quebrar essa molécula em novas espécies moleculares.

Então, é possível definir grandezas fotoquímicas ou fotobiológicas específicas, em função do efeito da radiação óptica sobre os receptores químicos ou biológicos correspondentes.

No campo da metrologia, a única grandeza fotobiológica formalmente definida para medição no SI é a interação da luz com o olho humano na visão. Uma unidade de base do SI, a candela, foi definida para essa importante grandeza fotobiológica. Várias outras grandezas fotométricas com unidades derivadas da candela também foram definidas (como, por exemplo o lúmen e o lux, veja a tabela 3 no capítulo 2).

As definições das grandezas e unidades fotométricas foram publicadas no Vocabulário Internacional de Iluminamento, publicação CIE 17.4 (1987) ou no Vocabulário Eletrotécnico internacional, publicação CEI 50, capítulo 845: iluminamento.

1 Espectro de ação actínica

Uma radiação óptica pode ser caracterizada por sua distribuição espectral de potência. Os mecanismos segundo os quais a radiação óptica é absorvida pelo sistema químico ou biológico são, em geral, muito complexos, e variam sempre em função do comprimento de onda (ou da frequência). Para aplicações metrológicas, entretanto, a complexidade dos mecanismos de absorção pode ser ignorada e o efeito actínico é simplesmente caracterizado por um espectro de ação actínica que relaciona a resposta fotoquímica ou fotobiológica à radiação incidente.

Esse espectro de ação actínica descreve a eficácia relativa de uma radiação óptica monocromática de comprimento de onda λ de produzir uma dada resposta actínica. O espectro é dado em valores relativos, normalizado em 1 para o máximo de eficácia. Geralmente, os espectros de ação actínica são definidos e recomendados pelos organismos internacionais científicos ou de normalização.

Princípios que governam a fotometria, Monografia BIPM, 1983, 32 pp.

Para a visão, dois espectros de ação foram definidos pela CIE e aprovados pelo CIPM: $V(\lambda)$ para a visão fotópica e $V'(\lambda)$ para a visão escotópica. Esses espectros de ação são utilizados nas medições das grandezas fotométricas e fazem parte implícita da definição da unidade SI para a fotometria, a candela. A visão fotópica é detectada pelos cones na retina, que são sensíveis a luminâncias elevadas ($L > 10 \text{ cd m}^{-2}$ aproximadamente) e são usados na visão diurna. A visão escotópica é detectada pelos bastonetes na retina, sensíveis a luminâncias fracas ($L < 10^{-3} \text{ cd m}^{-2}$ aproximadamente) usados na visão noturna.

No campo entre estes níveis de luminância ambos, cones e bastonetes, são usados e isto é conhecido como visão mesópica.

Outro espectro de ação para outros efeitos actínicos também foram definidos pelo CIE, tais como eritema (coloração avermelhada da pele) devido à ação da radiação ultravioleta. Esses espectros não receberam qualquer status especial no SI.

2. Medição de grandezas fotoquímicas ou fotobiológicas e suas unidades correspondentes

As grandezas fotométricas e as unidades fotométricas atualmente em uso no domínio da visão são bem estabelecidas e amplamente utilizadas há longo tempo. As regras a seguir não são aplicáveis a essas grandezas. Para todas as outras grandezas fotométricas ou fotobiológicas, devem ser aplicadas as regras a seguir para a definição das unidades a serem utilizadas. Uma grandeza fotoquímica ou fotobiológica é definida de maneira puramente física como uma grandeza derivada a partir da grandeza radiométrica correspondente, pela avaliação do efeito da radiação segundo sua ação sobre um receptor seletivo. A sensibilidade espectral desse receptor é definida pelo espectro da ação do efeito fotoquímico ou fotobiológico considerado. A grandeza é dada por uma integral sobre o comprimento de onda da distribuição espectral da grandeza radiométrica considerada, ponderada pelo espectro da ação actínica apropriado. A utilização de uma integral supõe, implicitamente, a aditividade aritmética das grandezas actínicas; na prática, essa lei não é obedecida perfeitamente pelos efeitos actínicos reais. O espectro da ação é uma grandeza relativa; ele é uma grandeza adimensional cuja unidade SI é o número um. A grandeza radiométrica correspondente possui sua própria unidade radiométrica. Assim, seguindo a regra para obtenção da unidade SI de uma grandeza derivada, a unidade da grandeza fotoquímica ou fotobiológica é a unidade radiométrica da grandeza radiométrica correspondente. Quando se dá um resultado numérico, é indispensável especificar se tratamos de uma grandeza radiométrica ou de uma grandeza actínica, pois as unidades são as mesmas. Se, para um efeito actínico, existirem vários espectros de ação, o espectro de ação utilizado para a medição deve ser claramente especificado.

Este método de definir as unidades a serem utilizadas para as grandezas fotoquímicas ou fotobiológicas foi recomendado pelo Comitê Consultivo para Fotometria e Radiometria (CCPR), em sua 9ª reunião, em 1997. Como exemplo, a irradiância efetiva eritemal E_{er} de uma fonte de radiação ultravioleta é obtida ponderando-se a irradiância espectral da radiação no comprimento de onda λ pela eficácia dessa radiação neste comprimento de onda em provocar um eritema e integrado com o conjunto de todos os comprimentos de onda presentes no espectro da fonte. Isto pode ser expresso sob a forma matemática seguinte:

$$E_{\text{er}} = \int E_{\lambda} s_{\text{er}}(\lambda) d\lambda$$

onde E_{λ} é a irradiância espectral no comprimento de onda λ (geralmente expresso nas unidades SI em $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$), e $s_{\text{er}}(\lambda)$ é o espectro actínico normalizado para 1 em seu máximo valor espectral.

O resultado dessa determinação dá a irradiância eritemal E_{er} expressa em W m^{-2} conforme as regras do SI.

Lista de siglas utilizadas nesta publicação *

1. Sigla de Laboratórios, Comissões e Conferências.

BAAS	<i>British Association for the Advancement of Science</i> - Associação Britânica para o Progresso da Ciência
BIH	<i>Bureau International de l'Heure</i> - Bureau Internacional da Hora
BIPM	<i>Bureau International des Poids et Mesures</i> - Bureau Internacional de Pesos e Medidas
CARICOM	<i>Caribbean Community</i> - Comunidade (e Mercado Comum) do Caribe
CCAUV	<i>Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration</i> - Comitê Consultivo para Acústica, Ultrassom e Vibração
CCDS *	<i>Consultative Committee for the Definition of the Second</i> - Comitê Consultivo para a Definição do Segundo (ver CCTF)
CCE *	<i>Consultative Committee for Electricity</i> - Comitê Consultivo para Eletricidade (ver CCEM)
CCEM	<i>Consultative Committee for Electricity and Magnetism</i> - Comitê Consultivo para Eletricidade e Magnetismo (Anteriormente denominado CCE)
CCL	<i>Consultative Committee for Length</i> - Comitê Consultivo para Comprimento
CCM	<i>Consultative Committee for Mass and Related Quantities</i> - Comitê Consultivo para Massa e Grandezas Relacionadas
CCPR	<i>Consultative Committee for Photometry and Radiometry</i> - Comitê Consultivo para Fotometria e Radiometria.
CCQM	<i>Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry</i> - Comitê Consultivo para a Quantidade de Substância: Metrologia em Química
CCRI	<i>Consultative Committee for Ionizing Radiation</i> - Comitê Consultivo para Radiações Ionizantes
CCT	<i>Consultative Committee for Thermometry</i> - Comitê Consultivo para Termometria
CCTF	<i>Consultative Committee for Time and Frequency</i> - Comitê Consultivo para Tempo e Frequência (anteriormente denominado CCDS)
CCU	<i>Consultative Committee for Units</i> - Comitê Consultivo para Unidades
CGPM	<i>General Conference on Weights and Measures</i> - Conferência Geral de Pesos e Medidas
CIE	<i>International Commission on Illumination</i> - Comissão Internacional de Iluminamento
CIPM	<i>International Committee for Weights and Measures</i> - Comitê Internacional de Pesos e Medidas
CODATA	<i>Committee on Data for Science and Technology</i> - Comitê de Dados para Ciência e Tecnologia
CR	<i>Comptes Rendus of the CGPM</i> - Relatórios da Conferência Geral de Pesos e Medidas
IAU	<i>International Astronomical Union</i> - União Astronômica Internacional
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i> - Comissão Internacional de Proteção Radiológica
ICRU	<i>International Commission on Radiation Units and Measurements</i> - Comissão Internacional de Unidades e Medidas de Radiação

* Os laboratórios ou organismos marcados com um asterístico não mais existem ou aparecem com outra sigla.

IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> - Comissão Internacional de Eletrotécnica
IERS	<i>International Earth Rotation and Reference System Service</i> - Serviço Internacional de Sistemas de Referência e Rotação da Terra
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> - Organização Internacional de Normalização
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i> - União Internacional de Química Pura e Aplicada
IUPAP	<i>International Union of Pure and Applied Physics</i> - União Internacional de Física Pura e Aplicada
OIML	<i>Organisation Internationale de Métrologie Légale</i> - Organização Internacional de Metrologia Legal
PV	<i>Procès-Verbaux of the CIPM</i> - Processos Verbais do Comitê Internacional de Pesos e Medidas
SUNAMCO	<i>Commission for Symbols, Units, Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, IUPAP</i> - Comissão para Símbolos, Unidades, Nomenclatura, Massas Atômicas e Constantes Fundamentais, IUPAP
WHO (OMS)	<i>World Health Organization</i> - Organização Mundial da Saúde

2. Siglas para Termos Científicos

(TT)	<i>Terrestrial Time</i> - Tempo Terrestre
CGS	Sistema de unidades coerentes de três dimensões baseado em três unidades mecânicas: centímetro, grama e segundo
EPT-76	Escala Provisória de Temperatura de 1976 (para baixas temperaturas)
IPTS-68	<i>International Practical Temperature Scale of 1968</i> - Escala Prática Internacional de Temperatura de 1968 (EPIT-68)
ITS-90	<i>International Temperature Scale of 1990</i> - Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)
MKS	Sistema de unidades baseado em três unidades mecânicas: metro, quilograma e segundo
MKSA	Sistema de unidades de quatro dimensões baseado no metro, quilograma, segundo e ampere
SI	Sistema Internacional de Unidades
TAI	<i>International Atomic Time</i> - Tempo Atômico Internacional
TCG	<i>Geocentric Coordinated Time</i> - Tempo Coordenado Geocêntrico
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i> - Tempo Universal Coordenado
VSMOW	<i>Vienna Standard Mean Ocean Water</i> - Material de referência de composição isotópica conhecida que representa um padrão médio da água do oceano

Índice

Os números em negrito indicam a página em que se encontram as definições dos termos ou unidades

A

aceleração da gravidade, valor de g_n , 55
 actinismo, 19, 87
 ampere, 16, 21-22, 25, 28, 56, 58, 59, 61 62
 arcosssegundo, 37
 atividade de um radionuclídeo, 30, 64
 atmosfera normal, 40, 59
 átomo-grama, 26

B

bar, 40,58
 barn, 40
 becquerel (Bq), 30, 31, 32, 64, 70
 bel (B), 40, 41, 47
 British Association for the Advancement of Science (BAAS), 21

C

cálculo formal, 44
 caloria, 58
 candela (cd), 16, 22, 28, 58, 59, 61, 66, 70, 71, 87
 capacidade térmica, 31, 44
 carga elementar, 38, 39
 CGS, 21, 41, 57
 CGS-UEM, 15 39
 CGS-UES, 15, 39
 CGS-Gaussiano, 17, 41
 CODATA, 39, 79
 composição isotópica da água, 26, 83
 comprimento, 16-17, 21, 24, 28, 54, 55, 59, 61
 constante de Avogadro, 27, 38
 constante de Josephson (K_J , K_{J-90}), 74, 75
 constante de Planck reduzida, 38, 39
 constante de von Klitzing (R_K , R_{K-90}) 23, 76, 79

constante magnética, permeabilidade do vácuo, 16, 25
 Convenção do Metro, 18-20
 corrente elétrica, 16-17, 25, 28, 56, 59, 61, 64
 coulomb (C), 16
 curie, 64

D

dalton (Da), 38-39
 decibel (dB) 40-41, 47
 definições das unidades de base, 23, 28
 dia, 35, 37
 dimensão das grandezas, 17
 dose absorvida, 20, 30-32, 70, 71, 74, 82
 dyna (dyn), 41, 58

E

efeito Hall (inclusive Hall quântico), 23, 74, 76, 79
 efeito Josephson, 74, 75
 elétron-volt (eV), 38, 39
 energia de Hartree, hartree, 38, 39
 equações eletromagnéticas racionalizadas baseadas em quatro grandezas, 16
 equivalente de dose, veja sievert,
 erg, 41, 58
 escala de temperatura termodinâmica, 59
 Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90), 76-77
 escotópica, 71, 87-88
 estabelecimento do SI, 57, 59, 60, 61
 esferorradiano (sr), 30-31, 33, 47, 62, 72, 77-78

F

farad (F) 30, 56, 62
 fatores de racionalização, 17

física atômica, 38

frequência de transição hiperfina do átomo de césio, 25

G

gal (Gal), 41

Gauss, 21

gauss (G), 41

Giorgi, 22

gon, 37

grad, 37

grafia do valor de uma grandeza, 46

grama, 19, 21, 35, 58, 64-65

grandeza de base, 15-17, 18

grandeza derivada, 15, 17, 29-31

grandeza, 15

grandezas adimensionais, 18, 29, 32-33, 47

grandezas biológicas, 19

grandezas de contagem, 18, 33

grandezas de natureza logarítmica, 40-41, 47

grandezas eletromagnéticas, 16, 41

grandezas fotobiológicas, 19, 87-88

grandezas fotométricas, 55, 66, 87-88

grandezas fotoquímicas, 19, 87-88

grau Celsius, 26, 30-31, 44, 46, 57, 58

gray (Gy) 30, 32, 70, 74

H

hectare (ha), 37

henry (H), 30, 56, 58, 62

hertz (Hz), 30, 58, 62

hora (h), 30, 56, 58, 62

I

incerteza, 47

intensidade luminosa, 17, 28, 55, 59, 61, 66, 70-71

ISO/TC 12, 16, 72

IUPAC, 27, IUPAC Green Book, 45

IUPAP SUNAMCO, 27, Red Book, 45

J

jarda, 42

joule, 18, 30, 32, 44, 56-57, 62

K

katal (kat), 30, 78-79

kelvin (K), 16, 23, 25-26, 28, 65-66, 83

kibibyte (kilobyte), 34

Kilograma, 16, 21-22, 24, 28, 35, 54, 55, 59, 61, 78

L

legislação sobre as unidades, 20

lei de Coulomb, 16

litro (L ou l), 37, 43, 54, 58, 62-63, 64, 71-72

lumen (lm), 30, 58, 62

lux (lx), 30, 58, 62

M

massa do elétron, 38, 39

massa e peso, 55

massa, 16, 17, 21, 24, 28, 35, 55, 59, 61, 64, 78

maxwell (Mx), 41

Maxwell, 21

mesópico, 71, 88

metro (m), 16, 21, 24, 43, 54, 55, 59, 60, 61, 73

microarcossegundo (μ as), 35, 37

milha náutica, 37, 40-41

miliarcossegundo (mas), 35, 37

milímetro de mercúrio, 40

minuto (min), 37

mol (mol), 16, 22-23, 26-27, 28, 69

molécula-grama, 26

múltiplos e submúltiplos 18, 19, 34, 61, 64, 78

múltiplos e submúltiplos do quilograma, 19, 35, 64, 65

N

neper (Np), 40-41, 47
 newton (N), 25, 30, 56, 58, 62
 nomes das unidades, 44
 nomes especiais e símbolos para as unidades, 18, 29-32
 Norma IEC 60027, 16
 Norma ISO 31, 14, 16, 45
 Norma ISO/IEC 80000, 16
 nota histórica, 20-22
 números divididos em classes de três algarismos 46, 83

O

oersted (Oe), 41
 ohm (Ω), 21, 25, 30, 43, 56, 58, 62, 74-75
 OIML, 20
 OMS, 20

P

pascal (Pa), 30, 43, 68,
 pé, 42
 peso atômico, 26-27
 peso molecular, 26-27
 phot (ph), 41
 poise (P), 41, 58
 polegada, 42
 ponto triplo da água, 26, 56-57, 59, 66, 83
 por cento, 48
 ppb, 48
 ppm, 48
 ppt, 48
 prefixos do SI, 18-19, 21, 34-35, 37, 40-41, 43-44, 61, 64, 67, 70, 77
 prefixos (múltiplos, submúltiplos), 34
 protótipo internacional do Kilograma, 21, 24, 54
 protótipo internacional do metro, 21, 24, 54, 55, 60, 61

Q

quantidade de substância, 17, 26-27, 28, 69
 química clínica, 27, 29, 78

R

radiação actínica, 19, 87-88
 radiação ionizante, 20, 32, 70, 71, 74, 81-82
 radiano (rad), 30 -31, 33, 47, 62, 72, 77-78
 radioterapia, 20
 raio de Bohr, bohr, 38, 39
 realização de uma unidade, 13, 23, 85
 relatividade geral, 19, 80

S

segundo (s), 16, 21, 23-25, 28, 43, 58, 58-60, 61, 65
 separador decimal, 14, 46-47, 82-83
 SI, ver Sistema Internacional de Unidades
 siemens (S), 30, 68
 sievert (Sv), 30-31, 32, 71, 74, 81
 símbolos das unidades, 28, 43, 61
 símbolos das dimensões, 17
 símbolos das grandezas, 17, 28, 44, 46-47
 símbolos das unidades (obrigatórios) 17, 28, 43-44
 símbolos recomendados para as grandezas, 16, 17, 44-46
 Sistema Internacional de Grandezas (SIG), 16
 Sistema Internacional de Unidades (SI), 16, 57, 59
 sistema métrico decimal, 21
 sistema MKS, 22, 56
 sistema MKSA, 22
 stilb (sb), 41, 58
 stokes (St), 41

T

TAI, ver Tempo Atômico Internacional
 temperatura Celsius, 26, 30, 46

temperatura termodinâmica, 16-17, 25-26, 28, 59, 61, 65-66, 83-84
tempo (duração), 15, 17, 24-25, 28, 59-60, 65
Tempo Atômico Internacional (TAI), 68-69
Tempo Universal Coordenado (UTC), 69-70
tesla (T), 30, 62
Thomson, 21
tonelada métrica, 37
tonelada, 37, 58

U

unidades fora do SI, 36-42
unidade (SI), 19, 23-32
unidade astronômica, 38-39
unidades derivadas, 15, 29-32, 66-67
unidades de base, 15, 23-28, 59, 61, 69
unidades de grandezas de
natureza logarítmica, 40-41, 47
unidades absolutas, 25
unidades atômicas, 38-39
unidades derivadas coerentes, 18, 29-32, 79
unidades elétricas, 56

unidades internacionais da OMS, 20
unidades naturais, 38-39
unidades para grandezas biológicas, 19-20
unidades para o som, 19
unidades práticas, 21, 57-58, 59, 60
unidades suplementares, 62, 67, 72, 77-78
UTC, ver Tempo Universal Coordenado,

V

valor numérico de uma grandeza, 44-46
vela nova, 55
velocidade da luz no vácuo, 24, 39, 80
visão fotópica, 71, 87
viscosidade cinemática (stokes), 41
viscosidade dinâmica (poise), 41, 58
volt (V), 30, 56, 58, 62, 74, 75

W

watt (W), 30, 56, 58, 62
weber (Wb), 30, 56, 62
Weber, 21