

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

TRADUÇÃO LUSO-BRASILEIRA DA 9ª EDIÇÃO



Sistema Internacional de Unidades (SI)

Tradução autorizada pelo BIPM da 9ª edição de 2019 da sua publicação bilingue *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 língua portuguesa substitui no Brasil a tradução “1ª Edição Brasileira da 8ª Edição do BIPM, Rio de Janeiro, 2012, ISBN 978-85-86920-11-0”, que é uma tradução da 8ª edição de 2006 do original “Le Système international d'unités” (em francês) ou “The International System of Units” (em inglês), do BIPM.

Declaração de direitos de autor

A brochura sobre o SI é distribuída sob os termos da licença *Creative Commons Attribution 4.0 International License* (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite o uso não restrito, a distribuição e a reprodução sem restrições em qualquer meio, desde que seja dado o devido crédito ao(s) autor(es) original(is) e à fonte, seja fornecida uma ligação para a licença *Creative Commons* e seja indicado se foram efetuadas alterações.

Grupo de Trabalho luso-brasileiro para a tradução do documento *Le Système international d'unités 9^e édition 2019* / *The International System of Units*, suportado pelo Memorando de Entendimento assinado entre o Inmetro e o IPQ, em 2021.

Brasil

- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Inmetro
- Instituto de Radioproteção e Dosimetria, IRD

Portugal

- Instituto Português da Qualidade, IPQ
- Instituto Superior Técnico – Laboratório de Metrologia das Radiações Ionizantes, IST-LMRI

Coordenação:

Regis Pinheiro Landim (Inmetro)

Coordenação:

Isabel Godinho (IPQ)
João Alves e Sousa (IPQ)

Aline de Oliveira Coelho (Inmetro)
Antonio Carlos Baratto (Inmetro)
Fábio André Ludolf Cacaís (Inmetro)
Gelson Martins da Rocha (Inmetro)
Gregory Amaral Kyriazis (Inmetro)
Guilherme de Andrade Garcia (Inmetro)
Gustavo Palmeira Ripper (Inmetro)
José Ubiratan Delgado (IRD)
Júlio Dutra Brionizio (Inmetro)
Luiz Vicente Gomes Tarelho (Inmetro)
Rodrigo P. B. Costa-Felix (Inmetro)
Sérgio Pinheiro de Oliveira (Inmetro)
Vanderléa de Souza (Inmetro)
Willian A. T. Sousa (Inmetro)

Carlos Pires (IPQ)
Fernanda Saraiva (IPQ)
Florabela Dias (IPQ)
Isabel Lóio (IPQ)
Isabel Spohr (IPQ)
João Garcia Alves (IST-LMRI)
Luís Ribeiro (IPQ)
Olivier Pellegrino (IPQ)

Inmetro / IPQ

Brasília – DF, BR / Caparica, PT

2021

© 2021 Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro)

© 2021 Instituto Português da Qualidade (IPQ)

Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.

Título original em francês *Le Système international d'unités (SI)*

Inmetro

Marcos Heleno G. de Oliveira Junior
Presidente do Inmetro

Beniamin Achilles Bondarczuck
Diretor de Metrologia Científica e Tecnologia

Divisão de Comunicação Social (Inmetro)

Capa

IPQ

António Mira dos Santos
Presidente do IPQ

Disponível também em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br> e <http://www1.ipq.pt/>

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Inmetro

S623 Sistema Internacional de Unidades (SI) [Recurso eletrônico] / Tradução do Grupo de Trabalho luso-brasileiro do Inmetro e IPQ. — Brasília, DF: Inmetro, 2021.
842 kB; pdf.

Inclui índice.

Traduzido de: *Le Système international d'unités – The International System of Units* 9a ed. 2019.

Versão na língua portuguesa específica para o Brasil.

ISBN: 978-85-86920-28-8

1. Sistema Internacional de Unidade (SI) 2. Unidade de Medida 3. Metrologia
I. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

CDD 530.812

Inmetro

Centro Empresarial Parque Brasília
SIG, Quadra 1, Lote 985, 1º andar, Setor de
Indústrias Gráficas, Brasília – DF
CEP 70610-410

Tel +55 (61) 3348-6300
www.gov.br/inmetro/pt-br

IPQ

Rua António Gião, 2
2829-513 CAPARICA,
Portugal

Tel +351 212 948 100
Fax +351 212 948 101
www1.ipq.pt

Prefácio da tradução luso-brasileira da 9ª edição do SI

O Sistema Internacional de Unidades (SI), formalmente adotado pela 11ª reunião da Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), em 1960, foi a nova designação do sistema métrico decimal consagrada internacionalmente através da Convenção do Metro, tratado celebrado em Paris, em 20 de maio de 1875, por 17 Estados, incluindo os nossos dois países, Brasil e Portugal.

O SI, utilizado em todo o mundo como sistema de unidades universal e coerente em todos os aspectos da vida e como linguagem da ciência, da tecnologia, da indústria e do comércio, define os nomes, os símbolos e as próprias unidades de medida, bem como os prefixos e os símbolos dos múltiplos e submúltiplos das mesmas unidades e contempla ainda as recomendações para a respectiva escrita e a utilização dos símbolos aprovados pela CGPM.

Em Portugal, o SI foi adotado através do Decreto-Lei nº 427/83, de 7 de dezembro, estando atualmente em vigor o Decreto-Lei nº 76/2020, de 25 de setembro, e o Brasil aderiu ao SI através do Decreto Legislativo nº 57, de 27 de junho de 1953, estando atualmente em vigor a Portaria nº 228, de 17 de maio de 2021. O Decreto-Lei nº 76/2020 e a Portaria nº 228/2021 atualizam (em Portugal e no Brasil, respectivamente) o Sistema Internacional de Unidades de acordo com as decisões emanadas da 26ª CGPM de 2018, na qual foi decidida a revisão do SI através da adoção das novas definições das sete unidades de base, que entraram em vigor em 20 de maio de 2019, considerando o uso de sete constantes definidoras.

Esta tradução acolhe no seu texto decisões do Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, assim como as regras estabelecidas por especialistas internacionais e adotadas por países no âmbito da CGPM, como resultado de ações do *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, consequentemente, do nome da unidade de massa quilograma para kilograma. Da mesma forma, o nome kilo passa a ser utilizado na formação dos múltiplos 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 justaposição 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 milimetro (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 nas duas tabelas seguintes.

Estas novas definições adotadas pela CGPM refletem as evoluções mais recentes da ciência em áreas emergentes e das tecnologias, cada vez mais exatas; baseiam-se no princípio de utilização de valores numéricos (fixados e exatos) de constantes fundamentais da natureza para definição das unidades de base do SI, o que melhora a estabilidade e a confiabilidade a longo prazo das unidades de base do SI, bem como a exatidão das medições.

Considerando que o Sistema Internacional de Unidades é mundialmente utilizado em todos os setores da sociedade, da indústria e do comércio, da ciência à tecnologia, torna-se importante promover a sua ampla divulgação, contribuindo assim para um aumento significativo de sua

aplicação no mundo lusófono, através desta tradução da 9ª edição da brochura publicada pelo *Bureau* Internacional de Pesos e Medidas, em 2019.

A presente publicação deve ser referenciada como “Tradução luso-brasileira de 2021 do SI”.

A versão que aqui se apresenta, em língua portuguesa, tem em consideração as recomendações do Acordo Ortográfico (AO) da Língua Portuguesa de 1990. Foi elaborada no âmbito do entendimento entre o Inmetro e o IPQ, por um grupo de técnicos destes Institutos Nacionais de Metrologia. Este grupo de trabalho dedicou-se por nove meses, debatendo e harmonizando muitos dos termos da língua portuguesa aplicados neste documento, de modo a melhor traduzir os conceitos da ciência da medição, garantindo o rigor e a clareza dos mesmos, considerando a diversidade e a abrangência de domínios incluídos. Em presença da existência, no Brasil e em Portugal, de diferentes formas lexicais, de termos não abrangidos pelo AO de 1990, ou cuja existência está ligada à tradição desses termos num e noutro país, foram mantidas essas duas versões, clarificando-se essa diferença sob a forma de notas de rodapé. Algumas destas diferenças estão previstas no AO de 1990, nomeadamente as que se referem à acentuação de algumas palavras (a utilização de acento agudo em Portugal e de acento circunflexo no Brasil).

A tabela seguinte apresenta a lista de palavras deste documento que podem ter dupla grafia.

Prefixo SI + Unidade SI	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

Esta nova grafia está em concordância com a regra estabelecida por especialistas internacionais e adotada por países no âmbito da CGPM sobre o SI para a formação do nome das unidades, justapondo o prefixo ao nome da unidade.

As alterações nas grafias de nomes de unidades adotadas neste documento permitirão a utilização de palavras (ainda não registradas nos dicionários da língua portuguesa) de uso na ciência, e de acordo com a regra estabelecida por especialistas internacionais e adotadas por países no âmbito da CGPM para a formação de múltiplos e submúltiplos, tal como nos exemplos apresentados a seguir.

Regra de formação do BIPM	Grafia 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

Ao longo deste documento é considerada a escrita de “quilometro” (sem acentuação) e de “kilograma”, este último já adotado legalmente em Portugal, considerando a introdução do “k”

no alfabeto português e da regra de escrita do SI, que estabelece a justaposição simples dos prefixos aos nomes das unidades. Ainda de acordo com esta regra, ao longo do documento escreve-se “milímetro” e “centímetro”, sem qualquer acentuação.

No final do documento, além do índice em língua portuguesa, foram também incluídos os índices alfabéticos em francês e em inglês.

Este documento está disponível nos *websites* do IPQ (www1.ipq.pt) e do Inmetro (www.gov.br/inmetro/pt-br).

Desta página em diante, com exceção dos termos e índices nas outras línguas, o documento é uma tradução tão fiel quanto possível do documento original do BIPM. Sempre que considerado necessário, foram incluídas pelos tradutores notas com esclarecimentos ou especificações adicionais.

Concluimos, expressando os nossos agradecimentos ao grupo de trabalho que preparou esta publicação.

Brasília, 20 de maio de 2021

Caparica, 20 de maio de 2021

Marcos Heleno Guerson de Oliveira Júnior

Presidente do Inmetro

António José Ruas Mira dos Santos

Presidente do IPQ

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 dezessete Estados¹, durante a sessão final da Conferência Diplomática do Metro. Essa Convenção recebeu emendas em 1921.

O BIPM tem sede perto de Paris, nos terrenos (43 520 m²) do *Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud)*, colocados à sua disposição pelo Governo francês; a sua manutenção é financiada conjuntamente pelos Estados-Membros da Convenção do Metro.

O BIPM tem por missão assegurar a unificação mundial das medições; os seus objetivos são os seguintes:

- representar a comunidade mundial de medições, com o intuito de maximizar a sua aceitação e impacto,
- ser um centro de colaboração científica e técnica entre os Estados-Membros, fornecendo possibilidades de comparações internacionais de medições numa base de custos partilhados,
- ser o coordenador do sistema mundial de medições, assegurando que este dê resultados de medição comparáveis e internacionalmente aceites.

O BIPM atua sob a supervisão exclusiva do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), que por sua vez está sob a autoridade da Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), a quem reporta sobre o trabalho realizado pelo BIPM.

Delegados de todos os Estados-Membros participam na Conferência Geral, que se reúne normalmente a cada quatro anos. A função destas reuniões é a de:

- discutir e iniciar os arranjos necessários para assegurar a propagação e a melhoria do Sistema Internacional de Unidades (SI), que é a forma moderna do sistema métrico;
- confirmar os resultados de novas determinações metrológicas fundamentais e adotar várias resoluções científicas de âmbito internacional;
- tomar todas as principais decisões relativas ao financiamento, organização e desenvolvimento do BIPM.

O CIPM tem dezoito membros, cada um de um Estado diferente: atualmente, reúne-se todos os anos. Os responsáveis por este comitê apresentam um relatório anual sobre a situação administrativa e financeira do BIPM aos governos dos Estados-Membros. A principal tarefa do CIPM é assegurar a uniformidade mundial das unidades de medida, atuando diretamente ou por meio da apresentação de propostas à CGPM.

Em 20 de maio de 2019, havia cinquenta e nove Estados-Membros: África do Sul, Alemanha, Arábia Saudita, Argentina, Austrália, Áustria, Bélgica, **Brasil**, Bulgária, Canadá, Cazaquistão, República Tcheca, Chile, China, Colômbia, Coreia do Sul, Croácia, Dinamarca, Egito, Emirados Árabes Unidos, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Índia, Indonésia, Irã, Iraque, Irlanda, Israel, Itália, Japão, Lituânia, Malásia, México, Montenegro, Nova Zelândia, Noruega, Países Baixos, Paquistão, Polónia, **Portugal**, Quênia, Reino Unido, Romênia, Rússia, Sérvia, Singapura, Suécia, Suíça, Tailândia, Tunísia, Turquia, Ucrânia, e Uruguai.

Quarenta e dois Estados e economias foram Associados à Conferência Geral de Pesos e Medidas: Albânia, Azerbaijão, Bangladesh, Belarus, Bolívia, Bósnia-Herzegovina, Botsuana, CARICOM, Catar, Costa Rica, Cuba, Equador, Estônia, Etiópia, Filipinas, Gana, Geórgia, Hong Kong (China), Jamaica, Kuwait, Letônia, Luxemburgo, Macedônia do Norte, Malta, Maurício, Moldávia, Mongólia, Namíbia, Omã, Panamá, Paraguai, Peru, Seicheles, Síria, Sri Lanka, Sudão, Taiwan, Tanzânia, Uzbequistão, Vietnã, Zâmbia e Zimbábue.

¹ Nota dos tradutores: o Brasil e Portugal integraram os dezessete Estados signatários da Convenção do Metro.

As atividades do BIPM, que no início estavam limitadas a medições de comprimento e massa (e a estudos metroológicos em relação a essas grandezas) foram estendidas a padrões de medição de eletricidade (1927), fotometria e radiometria (1937), radiação ionizante (1960), escalas de tempo (1988) e à química (2000). Para este propósito, os laboratórios originais, construídos entre 1876 e 1878, foram ampliados em 1929; novos edifícios foram construídos em 1963-64 para os laboratórios de radiações ionizantes, em 1984 para o trabalho sobre lasers e, em 1988, para uma biblioteca e escritórios. Em 2001, foi aberto um novo prédio para a oficina, escritórios e salas de reunião.

Cerca de quarenta e cinco físicos e técnicos trabalham nos laboratórios do BIPM. Efetuam principalmente investigações científicas em metrologia, comparações internacionais de realização das unidades e calibrações de padrões. Um relatório anual do Diretor apresenta os trabalhos em curso.

Perante a extensão dos trabalhos confiados ao BIPM em 1927, o CIPM criou, sob a designação de Comitês Consultivos, órgãos destinados a fornecer-lhe informações sobre os assuntos que submete à sua consideração para estudo e aconselhamento. Esses Comitês Consultivos, que podem formar grupos de trabalho temporários ou permanentes para o estudo de determinados assuntos, são responsáveis pela coordenação dos trabalhos internacionais realizados nas respectivas áreas e por propor recomendações ao CIPM sobre as unidades.

Os Comitês Consultivos têm regulamentações em comum [Documento CIPM-D-01, *Rules of procedure for the Consultative Committees (CC)* criados pelo CIPM, *CC working groups* e *CC workshops*]. Eles se reúnem em intervalos irregulares. O presidente de cada Comitê Consultivo é designado pelo CIPM e normalmente é um membro do CIPM. Os membros dos Comitês Consultivos são laboratórios de metrologia e institutos especializados, cuja lista é estabelecida pelo CIPM, que enviam os delegados de sua escolha. Além disso, há membros individuais indicados pelo CIPM, e um representante do BIPM [Documento CIPM-D-01, *Rules of procedure for the Consultative Committees (CC)* criados pelo CIPM, *CC working groups* e *CC workshops*]. Atualmente, existem dez Comitês Consultivos:

1. O Comitê Consultivo de Eletricidade e Magnetismo (CCEM), novo nome dado em 1997 ao Comitê Consultivo da Eletricidade (CCE) criado em 1927;
2. O Comitê Consultivo de Fotometria e Radiometria (CCPR), novo nome dado em 1971 ao Comitê Consultivo da Fotometria (CCP) criado em 1933 (entre 1930 e 1933 o CCE tratou de assuntos relativos à fotometria);
3. O Comitê Consultivo de Termometria (CCT), criado em 1937;
4. O Comitê Consultivo de Comprimento (CCL), novo nome dado em 1997 ao Comitê Consultivo para a Definição do Metro (CCDM), criado em 1952;
5. O Comitê Consultivo de Tempo e Frequência (CCTF), novo nome dado em 1997 ao Comitê Consultivo para a Definição do Segundo (CCDS), criado em 1956;
6. O Comitê Consultivo de Radiações Ionizantes (CCRI), novo nome dado em 1997 ao Comitê Consultivo para os padrões de medição das Radiações Ionizantes (CCEMRI), criado em 1958 (em 1969, este Comitê estabeleceu quatro seções: Seção I (raios x e raios γ , elétrons), Seção II (Medição dos radionuclídeos), Seção III (Medições neutrônicas, Seção IV (Padrões de energia- α); em 1975, esta última seção foi dissolvida e a Seção II passou a ser responsável por este campo de atividade;
7. O Comitê Consultivo de Unidades (CCU), criado em 1964 (este comitê substituiu a Comissão para o Sistema de Unidades criada pelo CIPM em 1954);
8. O Comitê Consultivo de Massa e Grandezas Relacionadas (CCM), criado em 1980;
9. O Comitê Consultivo de Quantidade de Matéria: Metrologia em Química e Biologia

(CCQM), criado em 1993;

10. O Comitê Consultivo para Acústica, Ultrassom e Vibração (CCAUV), criado em 1999.

As atas da CGPM e do CIPM são publicadas pelo BIPM nas seguintes séries:

- *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 reuniões dos Comitês Consultivos não deveriam mais ser impressos, mas colocados no *website* do BIPM, no idioma original.

O BIPM também publica monografias sobre temas metrológicos especiais e, sob o título “O Sistema Internacional de Unidades (SI)”, uma brochura, atualizada periodicamente, na qual são compiladas todas as decisões e recomendações relativas às unidades.

A coleção do *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 volumes publicados entre 1881 e 1966) e o *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (11 volumes publicados entre 1966 e 1988) foram interrompidos por uma decisão do CIPM.

O trabalho científico do BIPM é publicado na literatura científica de acesso livre.

Desde 1965, a *Metrologia*, revista internacional editada sob os auspícios do CIPM, publica artigos sobre metrologia científica, melhorias nos métodos de medição, trabalhos sobre padrões e unidades, assim como relatórios sobre as atividades, decisões e recomendações dos diversos órgãos criados no âmbito da Convenção do Metro.

Prefácio da 9ª edição do SI

O Sistema Internacional de Unidades, o SI, tem sido utilizado em todo o mundo como o sistema de unidades preferido e como a linguagem fundamental para a ciência, tecnologia, indústria e comércio desde que foi estabelecido em 1960 por uma resolução na 11ª *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM), conhecida em português como Conferência Geral de Pesos e Medidas.

Esta brochura sobre o SI é publicada pelo *Bureau International des Poids et Mesures* (conhecido em português como Bureau Internacional de Pesos e Medidas - BIPM) a fim de promover e explicar o SI. Ela lista as mais importantes Resoluções da CGPM e decisões do *Comité International des Poids et Mesures* (conhecido em português como Comitê Internacional de Pesos e Medidas - CIPM), que dizem respeito ao sistema métrico desde a 1ª reunião da CGPM em 1889.

O SI tem sido sempre um sistema prático e dinâmico, tendo evoluído para explorar os desenvolvimentos científicos e tecnológicos mais recentes. Em particular, os enormes avanços em física atômica e metrologia quântica, realizados nos últimos 50 anos, permitiram que as definições do segundo, do metro e a representação prática das unidades elétricas tirassem proveito dos fenômenos atômicos e quânticos, conseguindo alcançar níveis de exatidão, na realização das respectivas unidades, limitada apenas pelas nossas capacidades técnicas, e não pelas definições propriamente ditas. Esses progressos científicos, aliados à evolução das tecnologias de medição, permitiram mudanças no SI que foram promovidas e explicadas nas edições anteriores desta brochura.

A 9ª edição da brochura sobre o SI foi preparada no seguimento da adoção, pela 26ª reunião da CGPM, de um conjunto de mudanças profundas. A reunião introduziu uma nova abordagem para formular as definições das unidades em geral, e das sete unidades de base em particular, fixando os valores numéricos de sete constantes “definidoras”. Entre elas, estão constantes fundamentais da natureza, como a constante de Planck e a velocidade da luz, de maneira que as definições são baseadas nas leis da física e representam o nosso entendimento atual dessas leis. Pela primeira vez, fica disponível um conjunto completo de definições que não faz referência a nenhum padrão físico, propriedades de materiais ou descrições de medições. Essas mudanças permitem a realização de todas as unidades com uma exatidão que, em última instância, é limitada apenas pela estrutura quântica da natureza e pelas nossas capacidades técnicas, mas não pelas próprias definições. Qualquer equação válida da física que relacione as constantes definidoras a uma unidade pode ser utilizada para realizar esta unidade, criando assim oportunidades para a inovação, a realização em qualquer lugar com exatidão crescente com o avanço da tecnologia. Essa redefinição marca, assim, uma evolução importante e histórica.

As mudanças foram adotadas durante a CGPM em novembro de 2018, com efeitos a vigorarem a partir de 20 de maio de 2019, data escolhida por ser o Dia Mundial da Metrologia, o dia em que a Convenção do Metro foi assinada em 1875. Embora o impacto futuro das mudanças seja profundo, foi dada grande atenção para garantir a coerência dessas definições com aquelas em vigor no momento da implementação da revisão do SI.

Salienta-se o fato de que, desde a sua criação em 1960, o Sistema Internacional de Unidades sempre foi referido como “o SI” na sua forma abreviada. Este princípio foi mantido nas oito edições anteriores desta brochura e foi reafirmado na Resolução 1 aprovada na 26ª reunião da CGPM, que também confirmou que o título desta brochura é simplesmente “O Sistema Internacional de Unidades”. Esta consistência de referência ao SI reflete os esforços da CGPM e

do CIPM para garantir a continuidade dos valores das medições expressas em unidades do SI após cada alteração realizada.

O texto desta brochura foi preparado para fornecer uma descrição completa do SI e elucidar alguns antecedentes históricos. Fazem parte da brochura quatro apêndices:

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

O apêndice 2 está disponível apenas em versão eletrônica (www.bipm.org). Descreve a realização prática das sete unidades de base e de outras unidades importantes em cada domínio metrológico. Este apêndice será atualizado regularmente para refletir as melhorias nas técnicas experimentais disponíveis para a realização das unidades.

O apêndice 3 está disponível apenas em versão eletrônica (www.bipm.org). Faz uma discussão sobre unidades para grandezas fotoquímicas e fotobiológicas.

O apêndice 4 fornece algumas notas sobre a história do desenvolvimento do SI.

Concluimos expressando o nosso agradecimento aos membros do *Comité Consultatif des Unités* do CIPM, o CCU (Comitê Consultivo de Unidades), que foram responsáveis pela elaboração desta brochura. Tanto o CCU quanto o CIPM aprovaram o texto final.

Março de 2019

B. Inglis
Presidente, CIPM

J. Ullrich
Presidente, CCU

M.J.T. Milton
Diretor, BIPM

Nota sobre o texto

A 22ª reunião da CGPM decidiu, em 2003, em acordo com uma decisão do CIPM de 1997, que "o símbolo de separador decimal será, ou o ponto, ou a vírgula". Seguindo essa decisão, e atendendo à tradição vigente na língua portuguesa, usa-se, nesta edição, a vírgula como separador decimal.

Os leitores devem observar que as atas oficiais das reuniões da CGPM e das sessões do CIPM são as dos textos em francês. Esta brochura fornece o texto em português, mas, quando for necessária uma referência oficial, ou quando houver dúvida sobre a interpretação do texto, deve ser usado o texto em francês.

SUMÁRIO

Prefácio da tradução luso-brasileira da 9ª edição do SI.....	iii
O BIPM e a Convenção do Metro.....	vi
Prefácio da 9ª edição do SI	ix
1 Introdução	1
1.1. O SI e as constantes definidoras	1
1.2. Fundamento do uso de constantes para definir o SI.....	1
1.3. Implementação do SI	2
2 O Sistema Internacional de Unidades	3
2.1. Definição da unidade de uma grandeza.....	3
2.2. Definição do SI.....	3
2.2.1. A natureza das sete constantes definidoras do SI.....	4
2.3. Definições das unidades do SI.....	6
2.3.1. Unidades de base.....	6
2.3.2. Realização prática das unidades do SI	11
2.3.3. Dimensões das grandezas	11
2.3.4. Unidades derivadas.....	12
2.3.5. Unidades para grandezas que descrevem efeitos biológicos e fisiológicos.....	17
2.3.6. As unidades do SI no âmbito da teoria geral da relatividade.....	18
3 Múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI.....	19
4 Unidades não-SI que são aceitas para uso com o SI	21
5 Regras de escrita dos nomes e símbolos das unidades e expressão dos valores das grandezas.....	23
5.1. Utilização dos símbolos e nomes das unidades	23
5.2. Símbolos das unidades.....	23
5.3. Nomes das unidades	24
5.4. Regras e convenções de estilo para expressar valores de grandezas	24
5.4.1. Valor e valor numérico de uma grandeza; utilização do cálculo formal	24
5.4.2. Símbolos das grandezas e das unidades.....	25
5.4.3. Escrita do valor de uma grandeza	26
5.4.4. Escrita dos números e separador decimal	26
5.4.5. Expressão da incerteza de medição associada ao valor de uma grandeza	27

5.4.6. Multiplicação ou divisão dos símbolos das grandezas, dos valores das grandezas e dos números.....	27
5.4.7. Escrita dos valores das grandezas expressas por números .	27
5.4.8. Ângulos planos, ângulos sólidos e ângulos de fase	28
Apêndice 1. Decisões da CGPM e do CIPM	29
Apêndice 2. Realização prática das unidades principais	95
Apêndice 3. Unidades para a medição das grandezas fotoquímicas e fotobiológicas	96
Apêndice 4. Notas históricas sobre a evolução do Sistema Internacional de Unidades e as suas unidades de base	97
Lista de acrônimos utilizados.....	105
Índice remissivo	108

1 Introdução

1.1. O SI e as constantes definidoras

Esta brochura apresenta as informações necessárias para a definição e o uso do Sistema Internacional de Unidades, universalmente conhecido como SI (do francês *Système international d'unités*), pelo qual a Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) é responsável. Em 1960, a reunião da 11ª CGPM definiu e estabeleceu formalmente o SI, revendo-o posteriormente, de tempos em tempos, em resposta às solicitações dos utilizadores e aos avanços da ciência e da tecnologia. A mais recente e talvez mais importante revisão, desde a criação do SI, foi aprovada pela reunião da 26ª CGPM (2018) e está descrita nesta 9ª edição da brochura sobre o SI. A Convenção do Metro e os respectivos órgãos, nomeadamente a CGPM, o Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), o *Bureau* Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) e os Comitês Consultivos são descritos no texto "O BIPM e a Convenção do Metro", na página vi.

O SI é um sistema de unidades coerente para uso em todos os aspectos da vida, incluindo o comércio internacional, a produção industrial, a saúde e segurança, a proteção do meio ambiente ou a ciência fundamental que sustenta todos esses domínios. O sistema de grandezas subjacente ao SI e as equações que definem as relações entre essas grandezas são baseados na atual descrição da natureza, e são familiares a todos os cientistas, técnicos e engenheiros.

As definições das unidades do SI são estabelecidas a partir de um conjunto de sete constantes definidoras da física. A partir dos valores fixados dessas sete constantes definidoras, expressas em unidades do SI, é possível deduzir todas as unidades do sistema. Essas sete constantes são assim o elemento mais essencial da definição de todo o sistema de unidades. Essas constantes específicas foram escolhidas após terem sido identificadas como constituindo a melhor escolha, considerando-se a definição anterior do SI, que se baseava em sete unidades de base e no progresso científico.

Há uma variedade de métodos experimentais descritos pelos Comitês Consultivos do CIPM que podem ser usados para a realização das unidades: essas realizações são também designadas de *mises en pratique*, isto é, realizações práticas. Essas realizações podem ser revistas sempre que se desenvolvam novas experiências. É por esta razão que a presente brochura não contém recomendações sobre a realização das unidades: essas informações estão disponíveis no *website* do BIPM.

1.2. Fundamento do uso de constantes para definir o SI

Historicamente, as unidades do SI têm sido apresentadas em função de um conjunto de *unidades de base* – em número de sete, desde algumas décadas. Todas as outras unidades, designadas por *unidades derivadas*, são construídas como produtos de potências das unidades de base.

Têm sido usados diferentes tipos de definições para as unidades de base: propriedades específicas de alguns artefatos, como a massa do protótipo internacional do kilograma para a unidade "kilograma"; um estado físico específico, como o ponto triplo da água, para a unidade "kelvin"; princípios experimentais em condições idealizadas, como no caso das unidades

“ampere” e “candela”; ou constantes da natureza, como a velocidade da luz, para a definição da unidade “metro”.

Para terem uma utilidade prática, essas unidades, além de serem definidas, necessitam também de ser realizadas fisicamente para serem disseminadas. No caso de um artefato, a definição e a realização são equivalentes. Este caminho foi seguido por civilizações antigas avançadas. Embora este método seja simples e claro, os artefatos envolvem um risco de perda, dano ou alteração das características próprias. Os outros tipos de definições de unidade têm sido cada vez mais abstratos ou idealizados. As realizações são então conceitualmente dissociadas das definições, para que as unidades possam, por uma questão de princípio, ser realizadas de maneira independente em qualquer lugar e a qualquer momento. Além disso, podem ser desenvolvidas novas e melhores realizações graças aos progressos da ciência e das tecnologias, sem a necessidade de redefinir a unidade envolvida. Estas vantagens - que ficaram mais evidentes com a história de definição do metro, baseada inicialmente em artefatos, depois numa transição atômica de referência e finalmente na fixação de um valor numérico da velocidade da luz - levaram à decisão de definir todas as unidades por meio de constantes definidoras.

A escolha das unidades de base nunca foi imposta; essa escolha afirmou-se historicamente e se tornou familiar aos utilizadores do SI. A descrição do SI em função de unidades de base e de unidades derivadas é mantida na presente brochura sobre o SI, mas foi reformulada como consequência da adoção das constantes definidoras do SI.

1.3. Implementação do SI

As definições das unidades do SI, conforme adotadas pela CGPM, representam o mais alto nível de referência em matéria de rastreabilidade de medição ao SI.

Os institutos de metrologia em todo o mundo desenvolvem realizações práticas das definições para permitir a rastreabilidade das medições ao SI. Os Comitês Consultivos determinam o enquadramento que permite estabelecer a equivalência das realizações, a fim de harmonizar a rastreabilidade em todo o mundo.

Os organismos de normalização podem dar informações suplementares sobre as grandezas e unidades, assim como as regras de execução, quando estas forem necessárias para as partes interessadas. Sempre que as unidades do SI estiverem envolvidas, essas normas devem fazer referência às definições adotadas pela CGPM. Essas informações estão nomeadamente incluídas nas normas elaboradas pela Organização Internacional de Normalização (ISO) e pela Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), nas normas internacionais da série ISO/IEC 80000.

Os Estados fixam por via legislativa as regras relativas ao uso das unidades à escala nacional, seja para uso geral ou para alguns domínios particulares, como o comércio, a saúde, a segurança pública ou a educação. Em quase todos os países, a legislação é baseada no uso do SI. A Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML) é responsável pela harmonização internacional das especificações técnicas dessas legislações.

2 O Sistema Internacional de Unidades

2.1. Definição da unidade de uma grandeza

O valor de uma grandeza é geralmente expresso como o produto de um número por uma unidade. A unidade é apenas um exemplo particular da grandeza em questão, sendo utilizada como referência, e o número é a razão entre o valor da grandeza e a unidade.

Para uma determinada grandeza, podem ser utilizadas diferentes unidades. Por exemplo, o valor da velocidade v de uma partícula pode ser expresso como $v = 25 \text{ m/s}$ ou $v = 90 \text{ km/h}$, onde "metro por segundo" e "quilometro por hora" são unidades alternativas para expressar o mesmo valor da grandeza "velocidade".

Antes de expressar um resultado de medição, é essencial que a grandeza considerada seja adequadamente descrita. Isso pode ser simples, como no caso do comprimento de uma barra de aço específica, mas pode tornar-se mais complicado quando for exigida uma maior exatidão e parâmetros suplementares, como por exemplo a temperatura, que devem ser especificados.

Para expressar o resultado de medição de uma grandeza específica, o **valor estimado** do mensurando (a grandeza a medir) e a **incerteza** associada ao valor dessa grandeza são necessários: ambos são expressos na mesma unidade.

Por exemplo, a velocidade da luz no vácuo² é uma constante da natureza, representada pelo símbolo c , cujo valor em unidades do SI é dado pela relação $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$, onde o valor numérico é 299 792 458 e a unidade é m/s.

2.2. Definição do SI

Como acontece com qualquer grandeza, o valor de uma constante fundamental pode ser expresso como o produto de um número por uma unidade.

As definições apresentadas a seguir especificam o valor numérico exato de cada constante quando o respectivo valor é expresso na unidade do SI correspondente. Ao fixar o valor numérico exato, a unidade torna-se definida, porque o produto do valor numérico pela unidade deve ser igual ao valor da constante que foi postulada como invariante.

As sete constantes definidoras do SI foram escolhidas de forma que qualquer unidade do SI possa ser expressa por meio de uma dessas

Os quocientes das unidades do SI podem ser expressos usando uma barra (/) ou um expoente negativo (⁻)

Por exemplo, $\text{m/s} = \text{m s}^{-1}$
 $\text{mol/mol} = \text{mol mol}^{-1}$

² Nota dos tradutores: em Portugal usa-se "vazio", enquanto que no Brasil se usa "vácuo".

sete constantes definidoras ou por meio de produtos ou quocientes dessas constantes.

O Sistema Internacional de Unidades, o SI, é o sistema de unidades segundo o qual:

- a frequência da transição hiperfina do estado fundamental não perturbado do átomo de césio 133, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, é igual a 9 192 631 770 Hz,
- a velocidade da luz no vácuo, c , é igual a 299 792 458 m/s,
- a constante de Planck, h , é igual a $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ J s,
- a carga elementar, e , é igual a $1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ C,
- a constante de Boltzmann, k , é igual a $1,380\,649 \times 10^{-23}$ J/K,
- a constante de Avogadro, N_A , é igual a $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ mol⁻¹,
- a eficácia luminosa de uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz, K_{cd} , é igual a 683 lm/W,

onde as unidades hertz, joule, coulomb, lúmen e watt, que têm por símbolos Hz, J, C, lm e W, respectivamente, estão relacionadas com as unidades segundo, metro, quilograma, ampere, kelvin, mol³ e candela, que têm por símbolos, respectivamente, s, m, kg, A, K, mol e cd, de acordo com as relações $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$, $\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$, $\text{C} = \text{A s}$, $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$ e $\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$

Os valores numéricos das sete constantes definidoras do SI não possuem incerteza.

Tabela 1. As sete constantes definidoras do SI e as sete unidades correspondentes por elas definidas

Constante definidora	Símbolo	Valor numérico	Unidade
frequência da transição hiperfina do Cs	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	9 192 631 770	Hz
velocidade da luz no vácuo	c	299 792 458	m s^{-1}
constante de Planck	h	$6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$	J s
carga elementar	e	$1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$	C
constante de Boltzmann	k	$1,380\,649 \times 10^{-23}$	J K ⁻¹
constante de Avogadro	N_A	$6,022\,140\,76 \times 10^{23}$	mol ⁻¹
eficácia luminosa	K_{cd}	683	lm W ⁻¹

Preservar a continuidade, tanto quanto possível, sempre foi uma característica essencial de qualquer mudança no Sistema Internacional de Unidades. Os valores numéricos das sete constantes definidoras foram escolhidos em coerência com as definições anteriores, na medida em que os avanços da ciência e do conhecimento o permitam.

2.2.1. A natureza das sete constantes definidoras do SI

A natureza das sete constantes definidoras do SI varia desde constantes fundamentais da natureza até constantes técnicas.

³ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “mole”, enquanto que no Brasil se usa “mol”.

O uso de uma constante para definir uma unidade dissocia a definição da realização, o que cria a possibilidade de desenvolver realizações práticas inteiramente diferentes, ou novas e melhoradas, em função da evolução dos processos tecnológicos, sem a necessidade de alterar a definição da unidade.

Uma constante técnica como K_{cd} , eficácia luminosa de uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz, faz referência a uma aplicação específica. Em princípio, esta constante técnica pode ser escolhida livremente, nomeadamente para incluir fatores fisiológicos convencionais ou outros fatores de ponderação. Por outro lado, o uso de uma constante fundamental da natureza, em geral, não permite essa escolha porque esse tipo de constante está relacionado a outras constantes por meio das equações da física.

As sete constantes definidoras do SI foram escolhidas de modo a formar um conjunto que constitui uma referência fundamental, estável e universal cujas realizações práticas permitem obter as menores incertezas possíveis. As convenções e especificações técnicas selecionadas também levam em consideração os desenvolvimentos históricos.

Tanto a constante de Planck, h , como a velocidade da luz no vácuo, c , são apropriadamente descritas como fundamentais. Elas determinam efeitos quânticos e propriedades do espaço-tempo, respectivamente, e afetam da mesma maneira todas as partículas e campos em todas as escalas e em todos os ambientes.

A carga elementar, e , corresponde a uma constante de acoplamento da força eletromagnética via constante de estrutura fina $\alpha = e^2/(2c\epsilon_0 h)$, onde ϵ_0 é a permissividade elétrica⁴ do vácuo (também conhecida como constante elétrica). Algumas teorias preveem uma variação de α ao longo do tempo. Os limites experimentais da máxima variação possível em α são, no entanto, tão pequenos, que qualquer efeito em medições práticas futuras pode ser excluído.

A constante de Boltzmann, k , é uma constante de proporcionalidade entre as grandezas “temperatura” (cuja unidade é o kelvin) e “energia” (cuja unidade é o joule), cujo valor numérico é obtido a partir de especificidades históricas associadas à escala de temperatura. A temperatura de um sistema varia com a respectiva energia térmica, mas não necessariamente com a energia interna do sistema. Em física estatística, a constante de Boltzmann relaciona a entropia, S , ao número Ω de estados quânticos acessíveis, $S = k \ln \Omega$.

A frequência do cério, $\Delta\nu_{Cs}$, que é a frequência da transição hiperfina do estado fundamental não perturbado do átomo de cério 133, tem o caráter de um parâmetro atômico que pode ser afetado pelo ambiente, tais como campos eletromagnéticos. No entanto, tal transição é bem conhecida e estável, constituindo uma boa escolha como transição de referência, do ponto de vista prático. A escolha de um parâmetro atômico como $\Delta\nu_{Cs}$ não dissocia a definição da realização como no caso de h , c , e ou k , mas especifica a referência escolhida.

A constante de Avogadro, N_A , é uma constante de proporcionalidade entre a grandeza “quantidade de matéria” (cuja unidade é o mol⁵) e uma grandeza cujo valor é determinado pela contagem de entidades (cuja unidade é o número “um”, símbolo 1). Tem, portanto, o caráter de uma constante de proporcionalidade semelhante à constante de Boltzmann, k .

A eficácia luminosa de uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz, K_{cd} , é uma constante técnica que estabelece uma relação numérica exata entre as características puramente físicas de uma potência radiante⁶ estimulando o olho humano (W) e a resposta fotobiológica provocada pelo fluxo luminoso, recebido por um observador médio (lm), a uma frequência de 540×10^{12} hertz.

⁴ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “permitividade dielétrica”, enquanto que no Brasil se usa “permissividade elétrica”.

⁵ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “a mole”, enquanto que no Brasil se usa “o mol”.

⁶ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “fluxo energético”, enquanto que no Brasil se usa “potência radiante” ou “fluxo radiante”.

2.3. Definições das unidades do SI

Antes da adoção da respectiva revisão em 2018, o SI era definido por meio de sete *unidades de base*, sendo as *unidades derivadas* formadas como produtos de potências das *unidades de base*. Definindo-se o SI fixando os valores numéricos de sete constantes definidoras, esta distinção é, em princípio, desnecessária, uma vez que as definições de todas as unidades, sejam *unidades de base* ou *derivadas*, podem ser estabelecidas diretamente a partir dessas sete constantes. No entanto, os conceitos de unidades de base e de unidades derivadas são mantidos por serem práticos e historicamente bem estabelecidos; além disso, a série de normas ISO/IEC 80000 especifica as grandezas de base e as grandezas derivadas que devem corresponder, necessariamente, às unidades de base e às unidades derivadas do SI definidas na presente brochura.

2.3.1. Unidades de base

As unidades de base do SI estão listadas na Tabela 2.

Tabela 2. Unidades de base do SI

Grandeza de base		Unidade de base		Os símbolos das grandezas são geralmente letras únicas dos alfabetos latino ou grego, impressos em fonte itálica e são <i>recomendações</i> .
Nome	Símbolo típico	Nome	Símbolo	
tempo	<i>t</i>	segundo	s	Os símbolos das unidades são impressos em fonte (romana) vertical e são <i>obrigatórios</i> , consulte o capítulo 5.
comprimento	<i>l, x, r</i> etc.	metro	m	
massa	<i>m</i>	kilograma	kg	
corrente elétrica	<i>I, i</i>	ampere	A	
temperatura termodinâmica	<i>T</i>	kelvin	K	
quantidade de matéria	<i>n</i>	mol	mol	
intensidade luminosa	<i>I_v</i>	candela	cd	

A definição do SI baseada nos valores numéricos fixados das sete constantes definidoras permite deduzir as definições de cada uma das sete unidades de base do SI usando, conforme apropriado, uma ou mais dessas constantes. A seguir, estão apresentadas as definições decorrentes.

O segundo

O segundo, símbolo *s*, é a unidade de tempo do SI. É definido tomando o valor numérico fixado da frequência do césio, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, a frequência da transição hiperfina do estado fundamental não perturbado do átomo de césio 133, igual a 9 192 631 770 quando expressa em Hz, unidade igual a s^{-1} .

Esta definição implica a relação exata $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$. Invertendo esta relação, o segundo é expresso em função da constante $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1 \text{ Hz} = \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}}}{9\,192\,631\,770} \quad \text{ou} \quad 1 \text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}$$

Resulta desta definição que o segundo é igual à duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental não perturbado do átomo de cézio 133.

A referência a um átomo não perturbado destina-se a deixar claro que a definição do segundo do SI é baseada num átomo de cézio isolado que não é perturbado por qualquer campo externo, como a radiação do corpo negro à temperatura ambiente.

O segundo, assim definido, é a unidade de tempo próprio no sentido da teoria geral da relatividade. Para estabelecer uma escala de tempo coordenado, os sinais de diferentes relógios primários em todo o mundo são combinados, depois correções são aplicadas para ter em conta o desvio relativístico da frequência entre os padrões de cézio (ver seção 2.3.6).

O CIPM adotou diferentes representações secundárias do segundo, com base em um número selecionado de linhas⁷ espectrais de átomos, íons⁸ ou moléculas. As frequências não perturbadas destas linhas podem ser determinadas com uma incerteza relativa não menor que a da realização do segundo com base na frequência da transição hiperfina do átomo de cézio 133, mas algumas podem ser reproduzidas com uma maior estabilidade.

O metro

O metro, símbolo m, é a unidade de comprimento do SI. É definido tomando o valor numérico fixado da velocidade da luz no vácuo, c , igual a 299 792 458 quando expressa em m s^{-1} , o segundo sendo definido em função de $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Esta definição implica a relação exata $c = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$. Invertendo esta relação, o metro é expresso em função das constantes c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1 \text{ m} = \left(\frac{c}{299\,792\,458} \right) \text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458} \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}} \approx 30,663\,319 \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}$$

Resulta desta definição que o metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo com duração de $1/299\,792\,458$ de um segundo.

O quilograma

O quilograma, símbolo kg, é a unidade de massa do SI. É definido tomando o valor numérico fixado da constante de Planck, h , igual a $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ quando expressa em J s, unidade igual a $\text{kg m}^2 \text{ s}^{-1}$, o metro e o segundo sendo definidos em função de c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Esta definição implica a relação exata $h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$. Invertendo esta relação, o quilograma é expresso em função das três constantes h , $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ e c :

$$1 \text{ kg} = \left(\frac{h}{6,626\,070\,15 \times 10^{-34}} \right) \text{ m}^{-2} \text{ s}$$

relação idêntica a:

$$1 \text{ kg} = \frac{(299\,792\,458)^2}{(6,626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2} \approx 1,475\,5214 \times 10^{40} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2}$$

Esta definição permite definir a unidade $\text{kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ (a unidade de ambas as grandezas físicas “ação” e “momento angular”). Juntamente com as definições do segundo e do metro, a unidade de massa é expressa em função da constante de Planck h .

⁷ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “riscas”, enquanto que no Brasil se usa “linhas”.

⁸ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “iões”, enquanto que no Brasil se usa “íons”.

A definição anterior do quilograma fixava o valor da massa do protótipo internacional do quilograma $\mathcal{K}$, $m(\mathcal{K})$, como sendo exatamente um quilograma; e o valor da constante de Planck h teve de ser determinado experimentalmente. A presente definição do quilograma fixa exatamente o valor numérico de h e a massa do protótipo agora deve ser determinada experimentalmente.

O número escolhido para fixar o valor numérico da constante de Planck é tal que, no momento da adoção desta definição da unidade de massa, o quilograma era igual à massa do protótipo internacional, $m(\mathcal{K}) = 1 \text{ kg}$, com uma incerteza padrão relativa de 1×10^{-8} , que era a incerteza padrão da combinação das melhores estimativas do valor da constante de Planck naquele momento.

Importa notar que esta definição da unidade de massa permite estabelecer, em princípio, realizações primárias em qualquer ponto da escala de massa.

O ampere

O ampere, símbolo A, é a unidade de corrente elétrica do SI. É definido tomando o valor numérico fixado da carga elementar, e , igual a $1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ quando expressa em C, unidade igual a A s, o segundo sendo definido em função de $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Esta definição implica a relação exata $e = 1,602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ A s}$. Invertendo esta relação, o ampere é expresso em função das constantes e e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1 \text{ A} = \left(\frac{e}{1,602\,176\,634 \times 10^{-19}} \right) \text{ s}^{-1}$$

que é igual a

$$1 \text{ A} = \frac{1}{(9\,192\,631\,770) (1,602\,176\,634 \times 10^{-19})} \Delta\nu_{\text{Cs}} e \approx 6,789\,6868 \times 10^8 \Delta\nu_{\text{Cs}} e$$

Resulta desta definição que um ampere é a corrente elétrica correspondente ao fluxo de $1/(1,602\,176\,634 \times 10^{-19})$ cargas elementares por segundo.

A definição anterior do ampere era baseada na força produzida entre dois condutores atravessados por uma corrente e fixava o valor da permeabilidade magnética do vácuo μ_0 (também conhecida como constante magnética) em exatamente $4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$, H e N representando as unidades derivadas coerentes henry e newton, respectivamente. A nova definição do ampere fixa o valor numérico de e em vez de μ_0 . Por conseguinte, μ_0 deve agora ser determinado experimentalmente.

Assim, como a permissividade elétrica do vácuo ϵ_0 (também conhecida como a constante elétrica), a impedância característica do vácuo Z_0 e a admitância do vácuo Y_0 são iguais a $1/(\mu_0 c^2)$, $\mu_0 c$ e $1/(\mu_0 c)$, respectivamente, os valores de ϵ_0 , Z_0 e Y_0 devem agora ser determinados experimentalmente e têm a mesma incerteza padrão relativa que μ_0 , uma vez que o valor de c é exatamente conhecido. O produto $\epsilon_0 \mu_0 = 1/c^2$ e o quociente $Z_0/\mu_0 = c$ permanecem exatos.

No momento da adoção da presente definição do ampere, μ_0 era igual a $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ com uma incerteza padrão relativa de $2,3 \times 10^{-10}$.

O kelvin

O kelvin, símbolo K, é a unidade de temperatura termodinâmica do SI. É definido tomando o valor numérico fixado da constante de Boltzmann, k , igual a $1,380\,649 \times 10^{-23}$, quando expressa em J K^{-1} , unidade igual a $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, o quilograma, o metro e o segundo sendo definidos em função de h , c e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Esta definição implica a relação exata $k = 1,380\,649 \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$. Invertendo esta relação,

o kelvin é expresso em função das constantes k , h e $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1 \text{ K} = \left(\frac{1,380\,649 \times 10^{-23}}{k} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

relação idêntica a:

$$1 \text{ K} = \frac{1,380\,649 \times 10^{-23}}{(6,626\,070\,15 \times 10^{-34}) (9\,192\,631\,770)} \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}} h}{k} \approx 2,266\,665\,3 \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}} h}{k}$$

Resulta desta definição que um kelvin é igual à mudança da temperatura termodinâmica que resulta duma mudança da energia térmica kT de $1,380\,649 \times 10^{-23} \text{ J}$.

A definição anterior do kelvin estabelecia a temperatura do ponto triplo da água, T_{TPW} , como sendo exatamente igual a 273,16 K. Dado que a definição atual do kelvin fixa o valor numérico de k em vez de T_{TPW} , este último deve agora ser determinado experimentalmente. Na data de adoção da presente definição do kelvin, o T_{TPW} era igual a 273,16 K com uma incerteza padrão relativa de $3,7 \times 10^{-7}$ com base nas medições de k efetuadas antes da redefinição.

Como resultado da forma como as escalas de temperatura eram definidas, continua a ser prática comum expressar uma temperatura termodinâmica, símbolo T , em função da diferença em relação à temperatura de referência $T_0 = 273,15 \text{ K}$, próxima ao ponto de congelamento⁹ da água. Essa diferença de temperatura é chamada de temperatura Celsius, símbolo t , que é definida pela equação das grandezas

$$t = T - T_0.$$

A unidade de temperatura Celsius é o grau Celsius, símbolo $^{\circ}\text{C}$, que é por definição igual em magnitude à unidade kelvin. Uma diferença ou intervalo de temperatura pode ser expresso em kelvins ou em graus Celsius, sendo o valor numérico da diferença de temperatura o mesmo em ambos os casos. No entanto, o valor numérico de uma temperatura Celsius expressa em graus Celsius está relacionado ao valor numérico da temperatura termodinâmica expressa em kelvins pela relação

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

(ver 5.4.1 para uma explicação da notação usada aqui).

O kelvin e o grau Celsius também são unidades da Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90) adotada pelo CIPM em 1989 na Recomendação 5 (CI-1989, PV, 57, 115). Importa notar que a ITS-90 define duas grandezas T_{90} e t_{90} que são aproximações muito boas às temperaturas termodinâmicas correspondentes T e t .

Importa também notar que a definição atual da unidade de temperatura termodinâmica permite as realizações primárias do kelvin, em princípio, em qualquer ponto da escala de temperatura.

O mol

O mol, símbolo mol, é a unidade de quantidade de matéria do SI. Um mol contém exatamente $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ entidades elementares. Este número, chamado de “número de Avogadro”, corresponde ao valor numérico fixado da constante de Avogadro, N_A , quando expressa em mol^{-1} .

A quantidade de matéria, símbolo n , de um sistema, é uma representação do número de entidades elementares especificadas. Uma entidade elementar pode ser um átomo, uma molécula, um íon¹⁰, um elétron¹¹, ou qualquer outra partícula ou grupo especificado de

⁹ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “congelação”, enquanto que no Brasil se usa “congelamento”.

¹⁰ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “ião”, enquanto que no Brasil se usa “íon”.

¹¹ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “eletrão”, enquanto que no Brasil se usa “elétron”.

partículas.

Esta definição implica a relação exata $N_A = 6,022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Invertendo esta relação, obtém-se a expressão exata para o mol em função da constante N_A :

$$1 \text{ mol} = \left(\frac{6,022\,140\,76 \times 10^{23}}{N_A} \right).$$

Resulta desta definição que o mol é a quantidade de matéria de um sistema que contém $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ entidades elementares especificadas. A definição anterior do mol fixava o valor da massa molar do carbono 12, $M(^{12}\text{C})$, como sendo exatamente 0,012 kg/mol. De acordo com a presente definição do mol, $M(^{12}\text{C})$ já não é conhecido exatamente e deve ser determinado experimentalmente. O valor escolhido para N_A é tal que, no momento de adotar a presente definição do mol, $M(^{12}\text{C})$ era igual a 0,012 kg/mol com uma incerteza padrão relativa de $4,5 \times 10^{-10}$.

A massa molar de qualquer átomo ou molécula X pode ainda ser obtida a partir da respectiva massa atômica relativa a partir da equação

$$M(X) = A_r(X) [M(^{12}\text{C})/12] = A_r(X) M_u$$

e a massa molar de um átomo ou uma molécula X também está relacionada com a massa de uma entidade elementar $m(X)$ pela relação

$$M(X) = N_A m(X) = N_A A_r(X) M_u$$

Nestas equações, M_u é a constante de massa molar, igual a $M(^{12}\text{C})/12$ e m_u é a constante de massa atômica unificada, igual a $m(^{12}\text{C})/12$. Estas constantes estão relacionadas com a constante de Avogadro através da relação

$$M_u = N_A m_u$$

No termo “quantidade de matéria”, a palavra “matéria” será geralmente substituída por outras palavras especificando a matéria em questão para cada aplicação particular; por exemplo, poder-se-ia falar de “quantidade de cloreto de hidrogênio” ou “quantidade de benzeno”. É importante dar uma definição precisa da entidade envolvida (conforme é dada ênfase na definição do mol), de preferência, especificando a fórmula química molecular do material envolvido. Embora a palavra “quantidade” tenha uma definição de dicionário mais geral, a abreviatura do nome completo “quantidade de matéria” para “quantidade” é, por vezes, usada para simplificar. Isto também se aplica às grandezas derivadas, como “concentração de quantidade de matéria”, que pode ser simplesmente chamada de “concentração de quantidade”. No domínio da química clínica, o nome “concentração de quantidade de matéria” é geralmente abreviado para “concentração de matéria”.

A candela

A candela, símbolo cd, é a unidade de intensidade luminosa do SI em uma determinada direção. É definida tomando o valor numérico fixado da eficácia luminosa de uma radiação monocromática de frequência de $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$, K_{cd} , igual a 683, quando expressa em lm W^{-1} , unidade igual a cd sr W^{-1} ou $\text{cd sr kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$, o quilograma, o metro e o segundo sendo definidos em função de h , c e $\Delta\nu_{Cs}$.

Esta definição implica a relação exata $K_{cd} = 683 \text{ cd sr kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$ para radiação monocromática de frequência $\nu = 540 \times 10^{12} \text{ Hz}$. Invertendo esta relação, a candela é expressa em função das constantes K_{cd} , h e $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1 \text{ cd} = \left(\frac{K_{cd}}{683} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1}$$

relação idêntica a

$$1 \text{ cd} = \frac{1}{(6,626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)^2 \, 683} (\Delta\nu_{\text{Cs}})^2 h K_{\text{cd}}$$

$$\approx 2,614\,8305 \times 10^{10} (\Delta\nu_{\text{Cs}})^2 h K_{\text{cd}}$$

Resulta desta definição que a candela é a intensidade luminosa, numa determinada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz e tem uma intensidade radiante¹² nessa direção de $(1/683) \text{ W sr}^{-1}$. A definição do esferorradiano¹³ é fornecida nas notas da Tabela 4.

2.3.2. Realização prática das unidades do SI

Os métodos experimentais de mais alto nível, usados para a realização das unidades por meio das equações da física são conhecidos como “métodos primários”. A característica essencial de um método primário é permitir a medição de uma grandeza numa unidade particular usando apenas medições de grandezas que não envolvem aquela unidade. Na presente formulação do SI, o fundamento das definições é diferente do usado anteriormente, de modo que podem ser usados novos métodos para a realização prática das unidades do SI.

Cada definição que indica uma condição ou um estado físico específico impõe um limite fundamental para a exatidão da realização. Um usuário agora está livre para escolher qualquer equação conveniente da física que relaciona as constantes definidoras à grandeza que se pretende medir. Esta abordagem para definir as unidades de medida é muito mais geral porque não é limitada pelo estado atual da ciência ou da tecnologia; em função dos progressos futuros, poderão ser desenvolvidas outras maneiras de realizar as unidades com maior exatidão. Com um tal sistema de unidades, não há, em princípio, limite para a exatidão com a qual uma unidade pode ser realizada. A exceção permanece na definição do segundo, em que a transição de micro-ondas do césio deve permanecer, por enquanto, como base da definição. Para uma descrição mais detalhada da realização das unidades do SI, consulte o Apêndice 2.

2.3.3. Dimensões das grandezas

As grandezas físicas podem ser organizadas em um sistema de dimensões, que foi decidido por convenção. Cada uma das sete grandezas de base do SI é considerada como tendo uma dimensão própria. Os símbolos usados para as grandezas de base e os usados para indicar as respectivas dimensões estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Grandezas de base e as respectivas dimensões usadas no SI

Grandeza de base	Símbolo típico da grandeza	Símbolo da dimensão
tempo	t	T
comprimento	$l, x, r, \text{etc.}$	L
massa	m	M
corrente elétrica	I, i	I
temperatura termodinâmica	T	Θ
quantidade de matéria	n	N
intensidade luminosa	I_v	J

¹² Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “intensidade energética”, enquanto que no Brasil se usa “intensidade radiante”.

¹³ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “esterradiano”, enquanto que no Brasil se usa “esferorradiano”.

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

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

onde os expoentes α , β , γ , δ , ε , ζ e η , que são geralmente inteiros pequenos e podem ser positivos, negativos ou zero, são chamados de expoentes dimensionais.

Algumas grandezas Q são definidas por uma equação de grandezas tal que todos os expoentes dimensionais na equação para a dimensão de Q são zero. Isso é verdade em particular para uma grandeza definida como a razão de duas grandezas da mesma natureza. Por exemplo, o índice de refração de um meio é a razão de duas velocidades e a permissividade¹⁴ relativa é a razão da permissividade de um meio dielétrico em relação ao vácuo. Essas grandezas são simplesmente números. A unidade associada é a unidade “um”, símbolo 1, embora raramente a unidade “um” seja escrita explicitamente (ver 5.4.7).

Existem também algumas grandezas que não podem ser descritas em função das sete grandezas de base do SI, mas cujo valor é determinado através de uma contagem. Trata-se, por exemplo, de um número de moléculas, de um número de entidades celulares ou biomoleculares (tais como cópias de uma sequência de ácido nucleico particular) ou a degeneração¹⁵ na mecânica quântica. Essas grandezas de contagem são também grandezas com a unidade associada “um”.

A unidade “um” é o elemento neutro de qualquer sistema de unidades – automaticamente presente e necessário. Não há necessidade de introduzir a unidade “um” no SI por uma decisão específica. Assim, é possível estabelecer a rastreabilidade formal ao SI através de procedimentos de medição apropriados e validados.

Os ângulos planos e sólidos, quando expressos em radianos e esferorradianos respectivamente, também são tratados no SI como grandezas com a unidade “um” (consulte a seção 5.4.8). Se for preciso, os símbolos rad e sr são escritos explicitamente, a fim de enfatizar que, para radianos ou esferorradianos, a grandeza envolve o ângulo plano ou o ângulo sólido, respectivamente. O uso de esferorradianos enfatiza a distinção entre unidades de fluxo e intensidade em radiometria e fotometria, por exemplo. No entanto, é uma prática estabelecida há muito tempo na matemática e em todos os domínios da ciência fazer uso de $\text{rad} = 1$ e $\text{sr} = 1$. Por razões históricas, o radiano e o esferorradiano são tratados como unidades derivadas, conforme descrito na seção 2.3.4.

É especialmente importante ter uma descrição clara de qualquer grandeza com unidade “um” (ver seção 5.4.7) que pode ser expressa como uma razão de grandezas de mesma natureza (por exemplo, razões de comprimentos ou frações molares) ou como uma contagem (por exemplo, número de fótons¹⁶ ou decaimentos).

2.3.4. Unidades derivadas

As unidades derivadas são definidas como produtos de potências das unidades de base. Quando o fator numérico deste produto é um, 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 de *conjunto coerente das unidades do SI*. O termo “coerente” aqui significa que as equações entre os valores numéricos das grandezas assumem exatamente a mesma forma que as equações entre as próprias grandezas.

¹⁴ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “permitividade”, enquanto que no Brasil se usa “permissividade”.

¹⁵ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “degenerescência”, enquanto que no Brasil se usa “degeneração”.

¹⁶ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “fotões”, enquanto que no Brasil se usa “fótons”.

Algumas das unidades derivadas coerentes do SI receberam nomes especiais. A Tabela 4 lista 22 unidades do SI com nomes especiais. As sete unidades de base (Tabela 2) e as unidades derivadas coerentes formam o núcleo do conjunto das unidades do SI. Todas as outras unidades do SI são combinações de algumas dessas 29 unidades.

É importante notar que qualquer uma das sete unidades de base e das 22 unidades do SI tendo um nome especial pode ser formada diretamente a partir das sete constantes definidoras do SI. Com efeito, as unidades dessas sete constantes definidoras incluem tanto unidades de base quanto unidades derivadas.

A CGPM adotou uma série de prefixos para uso na formação de múltiplos e submúltiplos decimais das unidades coerentes do SI (ver capítulo 3). Esses prefixos são práticos para expressar os valores de grandezas que são muito maiores ou muito menores que a unidade coerente. No entanto, quando é usado um prefixo com uma unidade do SI, a unidade derivada obtida já não é coerente, porque o prefixo introduz um fator numérico diferente de um. Podem ser usados prefixos com o conjunto das 7 unidades de base e das 22 unidades tendo um nome especial, com exceção da unidade de base “quilograma”, como é explicado em pormenor no capítulo 3.

Tabela 4. As 22 unidades do SI tendo um nome especial e um símbolo particular.

Grandeza derivada	Nome especial da unidade	Expressão da unidade em unidades de base ^(a)	Expressão da unidade em outras unidades do SI
ângulo plano	radiano ^(b)	$\text{rad} = \text{m/m}$	
ângulo sólido	esferorradiano ^(c)	$\text{sr} = \text{m}^2/\text{m}^2$	
frequência	hertz ^(d)	$\text{Hz} = \text{s}^{-1}$	
força	newton	$\text{N} = \text{kg m s}^{-2}$	
pressão, tensão mecânica	pascal	$\text{Pa} = \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$	
energia, trabalho, quantidade de calor	joule	$\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$	N m
potência, fluxo radiante, potência radiante ¹⁷	watt	$\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$	J/s
carga elétrica	coulomb	$\text{C} = \text{A s}$	
diferença de potencial elétrico ^(e)	volt	$\text{V} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-1}$	W/A
capacitância ¹⁸	farad	$\text{F} = \text{kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^4 \text{A}^2$	C/V
resistência elétrica	ohm	$\Omega = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-2}$	V/A
condutância elétrica	siemens	$\text{S} = \text{kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3 \text{A}^2$	A/V
fluxo magnético	weber	$\text{Wb} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{A}^{-1}$	V s
densidade de fluxo magnético ¹⁹	tesla	$\text{T} = \text{kg s}^{-2} \text{A}^{-1}$	Wb/m ²
indutância	henry	$\text{H} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{A}^{-2}$	Wb/A
temperatura Celsius	grau Celsius ^(f)	$^{\circ}\text{C} = \text{K}$	
fluxo luminoso	lúmen	$\text{lm} = \text{cd sr}^{(g)}$	cd sr

¹⁷ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “fluxo energético”, enquanto que no Brasil se usa “fluxo radiante” ou “potência radiante”.

¹⁸ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “capacidade elétrica”, enquanto que no Brasil se usa “capacitância”.

¹⁹ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “indução magnética”, enquanto que no Brasil se usa “fluxo magnético”.

iluminância	lux	$\text{lx} = \text{cd sr m}^{-2}$	lm/m^2
atividade de um radionuclídeo ^(d, h)	becquerel	$\text{Bq} = \text{s}^{-1}$	
dose absorvida, kerma	gray	$\text{Gy} = \text{m}^2 \text{s}^{-2}$	J/kg
equivalente de dose	sievert ⁽ⁱ⁾	$\text{Sv} = \text{m}^2 \text{s}^{-2}$	J/kg
atividade catalítica	katal	$\text{kat} = \text{mol s}^{-1}$	

- (a) A ordem dos símbolos das unidades de base na Tabela 4 é diferente da utilizada na 8ª edição da brochura sobre o SI após uma decisão na 21ª reunião do CCU (2013) de retornar à ordem original definida na Resolução 12 adotada pela 11ª CGPM (1960) na qual o newton é escrito como kg m s^{-2} , o joule como $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$ e o J s como $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A intenção era refletir os princípios físicos subjacentes das equações de grandezas correspondentes, embora, para algumas unidades derivadas mais complexas, isso possa não ser possível.
- (b) O radiano é a unidade coerente para o ângulo plano. Um radiano é um ângulo compreendido entre dois raios que, sobre a circunferência do círculo, interceptam um arco de comprimento igual ao do raio. O radiano é também a unidade do ângulo de fase. Para os fenômenos periódicos, o ângulo de fase aumenta de 2π rad por cada período. O radiano era anteriormente uma unidade suplementar do SI, mas esta categoria foi abolida em 1995.
- (c) O esferorradiano é a unidade coerente para o ângulo sólido. Um esferorradiano é o ângulo sólido subtendido no centro de uma esfera, por uma área que é igual ao raio ao quadrado. Tal como com o radiano, o esferorradiano era anteriormente uma unidade suplementar do SI.
- (d) O hertz deve ser usado apenas para fenômenos periódicos e o becquerel deve ser usado apenas para processos estocásticos associados à medição de atividade de um radionuclídeo.
- (e) A diferença de potencial elétrico também é chamada de “tensão” ou “tensão elétrica” em alguns países.
- (f) O grau Celsius é usado para expressar a temperatura Celsius. O valor numérico de uma diferença de temperatura ou intervalo de temperatura é idêntico quando expresso em graus Celsius ou em kelvins.
- (g) Na fotometria, o nome esferorradiano e o símbolo sr são geralmente mantidos em expressões para unidades.
- (h) A atividade de um radionuclídeo é por vezes incorretamente chamada de radioatividade.
- (i) Consulte a Recomendação 2 do CIPM sobre o uso do sievert (PV, 2002, **70**, 102).

As 7 unidades de base e as 22 unidades com um nome especial e um símbolo particular podem ser agrupadas para expressar as unidades de outras grandezas derivadas. Como o número de grandezas é ilimitado, não é possível fornecer uma lista completa das grandezas e unidades derivadas. A Tabela 5 apresenta alguns exemplos de grandezas derivadas, com as unidades derivadas coerentes correspondentes expressas em unidades de base. Além disso, a Tabela 6 apresenta exemplos de unidades derivadas coerentes cujos nomes e símbolos também incluem unidades derivadas. O conjunto das unidades do SI inclui o conjunto das unidades coerentes e os múltiplos e submúltiplos formados por meio de prefixos do SI.

Tabela 5. Exemplos de unidades derivadas coerentes do SI expressas a partir das unidades de base.

Grandeza derivada	Símbolo típico da grandeza	Unidade derivada expressa em unidades de base
área ²⁰	A	m^2
volume	V	m^3
velocidade	v	m s^{-1}

²⁰ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “superfície”, enquanto que no Brasil se usa “área”.

aceleração	a	m s^{-2}
número de onda	σ	m^{-1}
densidade de massa ²¹	ρ	kg m^{-3}
densidade superficial ²²	ρ_A	kg m^{-2}
volume específico ²³	v	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$
densidade de corrente	j	A m^{-2}
intensidade de campo magnético	H	A m^{-1}
concentração em quantidade de matéria	c	mol m^{-3}
concentração em massa	ρ, γ	kg m^{-3}
luminância	L_v	cd m^{-2}

Tabela 6. Exemplos de unidades derivadas coerentes do SI, cujos nomes e símbolos incluem unidades derivadas coerentes do SI tendo um nome especial e um símbolo particular.

Grandeza derivada	Nome da unidade derivada coerente	Símbolo	Grandeza derivada expressa em unidades de base
viscosidade dinâmica	pascal segundo	Pa s	$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$
momento de uma força, torque	newton metro	N m	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$
tensão superficial	newton por metro	N m^{-1}	kg s^{-2}
velocidade angular, frequência angular	radiano por segundo	rad s^{-1}	s^{-1}
aceleração angular	radiano por segundo ao quadrado	rad s^{-2}	s^{-2}
densidade do fluxo térmico, irradiância	watt por metro quadrado	W m^{-2}	kg s^{-3}
capacidade térmica, entropia	joule por kelvin	J K^{-1}	$\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
capacidade térmica específica, entropia específica ²⁴	joule por quilograma kelvin	$\text{J K}^{-1} \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
energia específica ²⁵	joule por quilograma	J kg^{-1}	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$
condutividade térmica	watt por metro kelvin	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{kg m s}^{-3} \text{K}^{-1}$
densidade de energia ²⁶	joule por metro cúbico	J m^{-3}	$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$
intensidade de campo elétrico ²⁷	volt por metro	V m^{-1}	$\text{kg m s}^{-3} \text{A}^{-1}$
densidade de carga elétrica ²⁸	coulomb por metro cúbico	C m^{-3}	A s m^{-3}

²¹ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “massa volúmica”, enquanto que no Brasil se usa “densidade de massa”.

²² Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “massa superficial”, enquanto que no Brasil se usa “densidade superficial”.

²³ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “volume mássico”, enquanto que no Brasil se usa “volume específico”.

²⁴ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “capacidade térmica mássica” ou “entropia mássica”, enquanto que no Brasil se usa “capacidade térmica específica” ou “entropia específica”.

²⁵ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “energia mássica”, enquanto que no Brasil se usa “energia específica”.

²⁶ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “energia volúmica”, enquanto que no Brasil se usa “densidade de energia”.

²⁷ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “campo elétrico”, enquanto que no Brasil se usa “intensidade de campo elétrico”.

²⁸ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “carga elétrica volúmica”, enquanto que no Brasil se usa “densidade de carga elétrica”.

densidade de carga superficial ²⁹	coulomb por metro quadrado	$C\ m^{-2}$	$A\ s\ m^{-2}$
densidade de fluxo elétrico, deslocamento elétrico	coulomb por metro quadrado	$C\ m^{-2}$	$A\ s\ m^{-2}$
permissividade	farad por metro	$F\ m^{-1}$	$kg^{-1}\ m^{-3}\ s^4\ A^2$
permeabilidade	henry por metro	$H\ m^{-1}$	$kg\ m\ s^{-2}\ A^{-2}$
energia molar	joule por mol	$J\ mol^{-1}$	$kg\ m^2\ s^{-2}\ mol^{-1}$
entropia molar, capacidade térmica molar	joule por mol kelvin	$J\ K^{-1}\ mol^{-1}$	$kg\ m^2\ s^{-2}\ mol^{-1}\ K^{-1}$
exposição (raios x e γ)	coulomb por kilograma	$C\ kg^{-1}$	$A\ s\ kg^{-1}$
taxa de dose absorvida ³⁰	gray por segundo	$Gy\ s^{-1}$	$m^2\ s^{-3}$
intensidade radiante	watt por esferorradiano	$W\ sr^{-1}$	$kg\ m^2\ s^{-3}$
radiância	watt por metro quadrado esferorradiano	$W\ sr^{-1}\ m^{-2}$	$kg\ s^{-3}$
concentração de atividade catalítica	katal por metro cúbico	$kat\ m^{-3}$	$mol\ s^{-1}\ m^{-3}$

É importante enfatizar que cada grandeza física possui apenas uma unidade do SI coerente, embora essa unidade possa ser expressa em diferentes formas por meio de nomes especiais e símbolos particulares.

O inverso, todavia, não é verdade porque, como regra geral, a mesma unidade do SI pode ser empregada para expressar grandezas diferentes. Por exemplo, o joule por kelvin é o nome da unidade do SI para a grandeza “capacidade térmica” e para a grandeza “entropia”. Da mesma forma, o ampere é o nome da unidade do SI para a grandeza de base “corrente elétrica” e para a grandeza derivada “força magnetomotriz”. É importante notar que não é suficiente indicar o nome da unidade para especificar a grandeza medida. Isso aplica-se não apenas aos textos científicos e técnicos, mas também, por exemplo, aos instrumentos de medição (com efeito, estes últimos devem afixar não apenas a unidade, mas também a grandeza medida).

Na prática, a unidade de algumas grandezas é expressa pelo uso de nomes especiais de unidades para facilitar a distinção entre diferentes grandezas com a mesma dimensão. Nesse caso, pode lembrar-se do processo pelo qual uma grandeza é definida. Por exemplo, a grandeza “torque” é o produto vetorial de um vetor de posição e um vetor de força: a unidade do SI é o “newton metro”. Embora o torque tenha a mesma dimensão que a energia (expressa em unidade do SI “joule”), o joule nunca é usado para expressar o torque.

A unidade do SI de frequência é o hertz, a unidade do SI de velocidade angular e de frequência angular é o radiano por segundo, e a unidade do SI de atividade é o becquerel: todas implicam uma

A Comissão Eletrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission – IEC*) introduziu o var (símbolo: var) como um nome especial para a unidade de potência reativa. Expresso em unidades coerentes do SI, o var é idêntico a volt ampere.

²⁹ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “carga elétrica superficial”, enquanto que no Brasil se usa “densidade de carga superficial”.

³⁰ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se débito de dose absorvida”, enquanto que no Brasil se usa “taxa de dose absorvida”.

contagem por segundo. Embora seja correto escrever todas essas três unidades como “o inverso do segundo”, o uso dos diferentes nomes enfatiza a natureza diferente das grandezas em questão. É especialmente importante distinguir entre frequência e frequência angular, porque, por definição, os seus valores numéricos diferem por um fator³¹ de 2π . Ignorar esse fato pode causar um erro de 2π . Observa-se que, em alguns países, os valores de frequência são expressos convencionalmente por meio de “ciclo/s” ou “cps” em vez da unidade do SI “Hz”, embora “ciclo” e “cps” não sejam unidades do SI. Observa-se também que é comum, embora não recomendado, usar o termo “frequência” para grandezas expressas em rad/s. Em consequência, é recomendado que as grandezas “frequência”, “frequência angular” e “velocidade angular” sejam sempre apresentadas explicitamente em Hz ou rad/s mas não em s^{-1} .

No domínio das radiações ionizantes, é usada a unidade do SI becquerel em vez do inverso do segundo, e as unidades do SI “gray” e “sievert” em vez de joule por kilograma para, respectivamente, a dose absorvida e o equivalente de dose. Os nomes especiais “becquerel”, “gray” e “sievert” foram introduzidos devido aos perigos para a saúde humana que poderiam resultar de erros no caso de as unidades “inverso do segundo” e “joule por kilograma” serem incorretamente utilizadas para explicitar essas grandezas.

Expressar temperaturas ou diferenças de temperatura requer um cuidado especial. Uma diferença de temperatura de 1 K equivale a uma diferença de temperatura de 1 °C, mas deve ser tomada em consideração a diferença de 273,15 K para expressar uma temperatura termodinâmica. A unidade grau Celsius apenas é coerente para expressar diferenças de temperatura.

2.3.5. Unidades para grandezas que descrevem efeitos biológicos e fisiológicos

Quatro das unidades do SI listadas nas tabelas 2 e 4 incluem coeficientes de ponderação fisiológicos: trata-se da candela, do lúmen, do lux e do sievert.

O lúmen e o lux são unidades derivadas da unidade de base “candela”. Tal como a candela, dão informações sobre a visão humana. A candela foi adotada como unidade de base em 1954, a fim de reconhecer a importância da luz na vida cotidiana. Mais informações sobre as unidades e as convenções utilizadas para definir as grandezas fotoquímicas e fotobiológicas estão apresentadas no Apêndice 3.

As radiações ionizantes depositam energia na matéria irradiada. A razão entre a energia depositada e a massa é denominada “dose absorvida” D . Conforme decidido pelo CIPM em 2002, a grandeza “equivalente de dose” $H = Q D$ é o produto da dose absorvida D e do fator numérico de qualidade Q , que leva em consideração a efetividade biológica³² da radiação e que depende da energia e do tipo de radiação.

Existem unidades para grandezas que descrevem efeitos biológicos e envolvem fatores de

³¹ Ver a norma ISO/IEC 80000-3, para detalhes.

³² Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “eficácia biológica”, enquanto que no Brasil se usa “efetividade biológica”.

ponderação, que não são unidades do SI. Podem citar-se dois exemplos:

O som causa flutuações de pressão no ar, que se adicionam à pressão atmosférica normal e que são percebidas pelo ouvido humano. A sensibilidade do ouvido depende da frequência sonora, mas não é uma relação simples, nem em função da amplitude da variação de pressão, nem em função da frequência. Portanto, as grandezas ponderadas em função da frequência são usadas na acústica para dar uma aproximação ao modo como o som é percebido. São utilizadas, por exemplo, para medições relacionadas com a proteção contra danos auditivos. O efeito das ondas acústicas ultrassônicas apresenta preocupações semelhantes no diagnóstico médico e no domínio da terapia.

Existe uma classe de unidades para quantificar a atividade biológica de certas substâncias utilizadas no diagnóstico médico e na terapia, que ainda não podem ser definidas em função das unidades do SI. Esta ausência de definição deve-se ao mecanismo do efeito biológico específico dessas substâncias ainda não ser suficientemente bem compreendido para ser quantificável em função de parâmetros físico-químicos. Tendo em conta a importância dessas unidades para a saúde e a segurança humana, a Organização Mundial da Saúde (OMS) assumiu a responsabilidade de definir as unidades internacionais utilizadas pela OMS para a atividade biológica dessas substâncias.

2.3.6. As unidades do SI no âmbito da teoria geral da relatividade

A realização prática de uma unidade e o processo de comparação exigem um conjunto de equações no âmbito de uma descrição teórica. Em alguns casos, essas equações incluem efeitos relativísticos.

Para os padrões de frequência, é possível realizar comparações remotas por meio de sinais eletromagnéticos. Para interpretar os resultados, é necessário recorrer à teoria geral da relatividade, uma vez que esta prevê, entre outros aspectos, um deslocamento de frequência relativo entre os padrões de cerca de 1 parte em 10^{16} por metro de altitude na superfície da Terra. Efeitos desta ordem de magnitude devem ser corrigidos ao comparar os melhores padrões de frequência.

Quando as realizações práticas são comparadas localmente, ou seja, numa zona específica do espaço-tempo, os efeitos ligados à curvatura do espaço-tempo descritos pela teoria geral da relatividade podem ser negligenciados. Quando as realizações têm as mesmas coordenadas no espaço-tempo (por exemplo, a mesma trajetória e a mesma aceleração ou o mesmo campo gravitacional), os efeitos relativísticos podem ser totalmente ignorados.

3 Múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI

Os múltiplos e submúltiplos decimais de 10^{24} a 10^{-24} podem ser utilizados com as unidades do SI. Os nomes e os símbolos dos prefixos adotados para formar os nomes e os símbolos dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades são apresentados na Tabela 7.

Os símbolos dos prefixos são escritos em caracteres romanos, assim como os símbolos das unidades, independentemente do caractere (romano ou itálico) usado no restante do texto; estes são anexados aos símbolos das unidades, sem espaço entre o símbolo de prefixo e o símbolo de unidade. Com exceção dos símbolos da (deca), h (hecto) e k (kilo), todos os símbolos dos prefixos dos múltiplos são escritos em letra maiúscula e todos os símbolos dos prefixos dos submúltiplos são escritos em letra minúscula. Todos os nomes dos prefixos são escritos em letra minúscula, exceto no início de uma frase.

Os prefixos do SI referem-se estritamente às potências de 10. Eles não devem ser usados para indicar potências de 2 (por exemplo, um kilobit representa 1000 bits e não 1024 bits). Os nomes e símbolos para prefixos a serem usados com potências de 2 são recomendados como segue:

kibi	Ki	2^{10}
mebi	Mi	2^{20}
gibi	Gi	2^{30}
tebi	Ti	2^{40}
pebi	Pi	2^{50}
exbi	Ei	2^{60}
zebi	Zi	2^{70}
yobi	Yi	2^{80}

Tabela 7. Prefixos do SI.

Fator	Nome	Símbolo	Fator	Nome	Símbolo
10^1	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^2	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^3	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

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

Exemplos: pm (picometro), mmol (milimol), G Ω (gigaohm), THz (terahertz)

$$2,3 \text{ cm}^3 = 2,3 (\text{cm})^3 = 2,3 (10^{-2} \text{ m})^3 = 2,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ cm}^{-1} = 1 (\text{cm})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} = 100 \text{ m}^{-1}.$$

Da mesma forma, os nomes de prefixos são inseparáveis dos nomes das unidades aos quais estão anexados. Assim, por exemplo, milímetro, micropascal e meganewton são palavras únicas.

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

Os símbolos dos prefixos não podem ser utilizados por si só ou junto ao número 1, o símbolo para a unidade “um”. Da mesma forma, os nomes dos prefixos não podem ficar juntos ao nome da unidade “um”, ou seja, à palavra “um”.

O quilograma é a única unidade coerente do SI, cujo nome e símbolo, por razões históricas, incluem um prefixo. Os nomes e símbolos para múltiplos e submúltiplos decimais da unidade de massa são formados juntando os nomes e os símbolos do prefixo ao nome de unidade “grama” e ao símbolo de unidade “g”, respectivamente. Assim, 10^{-6} kg é escrito como miligrama, mg, e não como microquilograma, μ kg.

4 Unidades não-SI que são aceitas para uso com o SI

O SI fornece as unidades de referência aprovadas internacionalmente em função das quais são definidas todas as outras unidades. As unidades coerentes do SI têm a vantagem considerável de não necessitarem de conversões de unidades ao atribuir valores específicos às grandezas em equações de grandezas.

No entanto, reconhece-se que algumas unidades fora do SI são muito utilizadas e continuarão, muito provavelmente, a ser utilizadas por muitos anos. Portanto, o CIPM aceitou que algumas unidades não-SI, sejam utilizadas com o SI: estão apresentadas na Tabela 8. Quando estas unidades forem usadas, deve ficar claro que se perde algumas vantagens do SI. Os prefixos do SI podem ser usados com várias destas unidades, mas não, por exemplo, com as unidades de tempo fora do SI.

Tabela 8. Unidades não-SI e que são aceitas para uso com as unidades do SI

Grandeza	Nome da unidade	Símbolo da unidade	Valor em unidades do SI	O gal (símbolo: Gal) é uma unidade de aceleração, não-SI, utilizada em geodésia e geofísica para expressar a aceleração devido à gravidade
tempo	minuto	min	1 min = 60 s	
	hora	h	1 h = 60 min = 3600 s	
	dia	d	1 d = 24 h = 86 400 s	
comprimento	unidade astronômica ^(a)	ua	1 ua = 149 597 870 700 m	
ângulo plano e de fase	grau	°	1° = ($\pi/180$) rad	1 Gal = 1 cm s ⁻² = 10 ⁻² m s ⁻²
	minuto	'	1' = (1/60)° = ($\pi/10\,800$) rad	
	segundo ^(b)	"	1" = (1/60)' = ($\pi/648\,000$) rad	
área	hectare ^(c)	ha	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²	
volume	litro ^(d)	l, L	1 l = 1 L = 1 dm ³ = 10 ³ cm ³ = 10 ⁻³ m ³	
massa	tonelada ^(e)	t	1 t = 10 ³ kg	
	dalton ^(f)	Da	1 Da = 1,660 539 066 60(50) × 10 ⁻²⁷ kg	
energia	elétron-volt ^(g)	eV	1 eV = 1,602 176 634 × 10 ⁻¹⁹ J	
grandezas de razão logarítmica	neper ^(h)	Np	ver texto	
	bel ^(h)	B		
	decibel ^(h)	dB		

(a) Decidido na XXVIII Assembleia Geral da União Astronômica Internacional (Resolução B2, 2012).

(b) Em astronomia, os pequenos ângulos são medidos em arcosegundos (i.e., segundos de ângulo plano), de símbolo as ou ", e em miliarcosegundos, microarcosegundos e picoarcosegundos, de símbolos mas, μ as e pas, respectivamente, o arcosegundo sendo um outro nome para o segundo de ângulo plano.

(c) A unidade hectare e o símbolo ha foram adotados pelo CIPM em 1879 (PV, 1879, 41). O hectare é usado para expressar áreas agrárias.

- (d) O litro e o símbolo l foram adotados pelo CIPM em 1879 (PV, 1879, 41). O símbolo alternativo, L, foi adotado pela 16ª CGPM (1979, Resolução 6; CR, 101 e *Metrologia*, 1980, **16**, 56-57) de modo a evitar o risco de confusão entre a letra l (ele) e o numeral 1 (um).
- (e) A tonelada e o símbolo t foram adotados pelo CIPM em 1879 (PV, 1879, 41). Esta unidade é geralmente designada como “tonelada métrica” nos países de língua inglesa.
- (f) O dalton (Da) e a unidade de massa atômica unificada (u) são nomes (e símbolos) alternativos para a mesma unidade, igual a 1/12 da massa de um átomo de carbono 12 livre, em repouso e no respectivo estado fundamental. Este valor do dalton é o valor recomendado no ajuste de 2018 de CODATA.
- (g) O elétron-volt é a energia cinética adquirida por um elétron após atravessar uma diferença de potencial de um volt no vácuo. O elétron-volt é frequentemente combinado com os prefixos do SI.
- (h) Ao usar essas unidades, é importante especificar a natureza da grandeza em questão e o valor de referência usado.

A Tabela 8 também inclui as unidades das grandezas logarítmicas, o neper, o bel e o decibel. São usadas para transmitir informações sobre a natureza do logaritmo de uma razão de grandezas. O neper, Np, é usado para expressar o valor de grandezas cujo valor numérico é um logaritmo neperiano (ou natural) de uma razão de grandezas, $\ln = \log_e$. O bel e o decibel, B e dB, $1 \text{ dB} = (1/10) \text{ B}$, são usados para expressar o valor de grandezas cujo valor numérico é um logaritmo de base 10, $\lg = \log_{10}$. A igualdade $L_X = m \text{ dB} = (m/10) \text{ B}$ (onde m é um número) é interpretado como significando que $m = 10 \lg (X/X_0)$. O uso das unidades neper, bel e decibel com o SI foi aceito pelo CIPM, mas não são unidades do SI.

Existem muitas outras unidades fora do SI, que apresentam um interesse histórico ou que ainda são usadas em domínio especializado (por exemplo, o barril de petróleo) ou em alguns países (a polegada, o pé e a jarda). O CIPM não vê motivo para se continuar a usar estas unidades nos trabalhos científicos e técnicos modernos. No entanto, é importante conhecer a relação entre essas unidades e as unidades do SI correspondentes, e isso continuará a ser verdade por muitos anos.

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

5.1. Utilização dos símbolos e nomes das unidades

Os princípios gerais para a escrita dos símbolos das unidades e dos números foram propostos em primeiro lugar na 9ª reunião da CGPM (1948, Resolução 7). Foram em seguida adotados e elaborados pela ISO, a IEC e outras organizações internacionais. Existe, portanto, um consenso geral sobre o modo como devem ser expressos os símbolos e os nomes das unidades, incluindo os símbolos e os nomes de prefixos, bem como os símbolos e os valores das grandezas. A conformidade com essas regras e convenções de estilo, as mais importantes das quais são apresentadas neste capítulo, apoia a legibilidade e a clareza dos resultados numéricos expressos em unidades do SI.

5.2. Símbolos das unidades

Os símbolos das unidades são impressos em caracteres verticais, independentemente do caractere vertical ou itálico usado no texto em que estão inseridos. Em geral, os símbolos das unidades são escritos em letra minúscula, mas, se o nome da unidade deriva de um nome próprio, a primeira letra do símbolo é uma letra maiúscula.

O símbolo do litro é uma exceção a esta regra. A 16ª reunião da CGPM (1979, Resolução 6) aprovou a utilização da letra L em maiúscula ou l em minúscula como símbolo do litro, a fim de evitar uma possível confusão entre o numeral 1 (um) e a letra minúscula l (ele).

Se for utilizado 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 nunca é usado isoladamente e prefixos compostos nunca são usados.

Os símbolos das unidades são entidades matemáticas e não abreviaturas. Portanto, não devem ser seguidos de um ponto, exceto quando se encontram no final de uma frase. Permanecem invariáveis no plural e não se deve misturar símbolos de unidades com nomes de unidades numa mesma expressão, uma vez que os nomes não são entidades matemáticas.

As regras clássicas da multiplicação ou divisão algébricas aplicam-se na formação dos produtos e quocientes dos símbolos de unidades. A multiplicação deve ser indicada por um espaço ou um ponto centrado a meia altura ($\cdot$), para evitar que alguns prefixos sejam mal-interpretados, como um símbolo de unidade. A divisão é indicada por uma linha horizontal, por uma barra oblíqua (/) ou por expoentes negativos. Quando são combinados vários símbolos de unidades, dever-se-á ter cuidado para evitar qualquer ambiguidade, usando, por exemplo, colchetes, parênteses ou expoentes negativos. Não deve ser usada por mais de uma vez uma barra oblíqua numa

determinada expressão, se não houver parêntesis, para evitar qualquer ambiguidade.

Não é permitida a utilização de abreviaturas para os símbolos e nomes de unidades, como seg (para s ou segundo), mm quad. (para mm² ou milímetro quadrado), cc (para cm³ ou centímetro cúbico) ou mps (para m/s ou metro por segundo). A utilização correta dos símbolos das unidades do SI, e das unidades em geral, conforme listados nos capítulos anteriores desta brochura, é obrigatória. Desta forma, são evitadas ambiguidades e erros de compreensão nos valores das grandezas.

5.3. Nomes das unidades

Os nomes das unidades são impressos em caracteres verticais e são considerados como substantivos comuns. Em português, como também em francês e em inglês, os nomes das unidades começam por uma letra minúscula (mesmo quando o símbolo da unidade começa por uma letra maiúscula), exceto se estão no início de uma frase ou num título em maiúsculas. De acordo com esta regra, a escrita correta do nome da unidade com o símbolo °C é “grau Celsius” (a unidade grau começa por uma letra minúscula e o modificador “Celsius” começa pela letra “C” maiúscula porque é um nome próprio).

Embora os valores das grandezas sejam geralmente expressos por meio de números e símbolos de unidades, se por algum motivo o nome da unidade for mais apropriado do que o respectivo símbolo, o nome da unidade deve ser escrito por extenso.

Quando o nome da unidade é associado ao nome de um prefixo de um múltiplo ou submúltiplo, não é utilizado nenhum espaço ou hífen entre o nome do prefixo e o da unidade. O conjunto formado pelo nome do prefixo e o da unidade constitui uma palavra única (ver capítulo 3).

Quando o nome de uma unidade derivada é constituído pela justaposição de nomes de unidades individuais, deve ser utilizado um espaço ou um hífen para separar o nome da unidade.

5.4. Regras e convenções de estilo para expressar valores de grandezas

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

Os símbolos das grandezas são geralmente formados por uma letra única com fonte em itálico, mas informações complementares sobre a grandeza podem ser especificadas em índice ou em expoente, adicionadas ao símbolo ou por meio de parênteses. Por exemplo, *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.

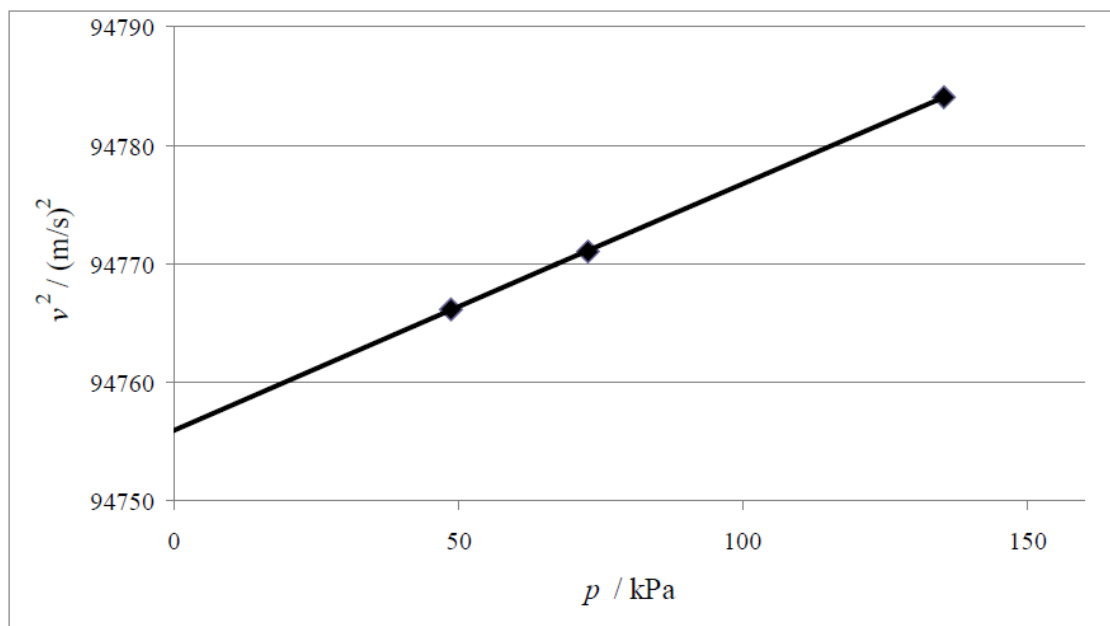
Os nomes e os símbolos recomendados para as grandezas estão listados em muitas obras de referência, tais como a série de normas ISO/IEC 80000 *Quantities and units*, o *Red Book* da IUPAP SUNAMCO intitulado *Symbols, Units and Nomenclature in Physics* e o *Green Book* da IUPAC intitulado *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*. Contudo, os símbolos das grandezas são apenas recomendados (enquanto o uso dos símbolos corretos das unidades é obrigatório). Em certas circunstâncias, os autores podem preferir utilizar o símbolo da própria escolha para uma grandeza determinada, por exemplo, para evitar um conflito decorrente do uso do mesmo símbolo para duas grandezas diferentes. Nesses casos, o significado do símbolo

deve ser claramente especificado. O nome de uma grandeza, ou o símbolo usado para a expressar, não obriga, em caso algum, a escolher uma unidade em particular.

Os símbolos das unidades são tratados como entidades matemáticas. Ao expressar o valor de uma grandeza como o produto de um valor numérico e uma unidade, o valor numérico e a unidade podem ser tratados pelas regras gerais da álgebra. Uma tal abordagem aplica os princípios do cálculo formal ou da álgebra das grandezas. Por exemplo, a equação $p = 48 \text{ kPa}$ pode ser também escrita como $p/\text{kPa} = 48$. É prática corrente escrever o quociente de uma grandeza e de uma unidade no cabeçalho da coluna de uma tabela, de modo que as entradas da tabela sejam simplesmente números. Por exemplo, uma tabela exprimindo a velocidade ao quadrado em função de uma pressão pode ter a seguinte forma:

p/kPa	$v^2/(\text{m/s})^2$
48,73	94 766
72,87	94 771
135,42	94 784

Os eixos de um gráfico também podem ser rotulados desta forma, de modo que as marcas das graduações sejam rotuladas apenas com números, como ilustrado na figura abaixo.



5.4.2. Símbolos das grandezas e das unidades

O símbolo da unidade não deve ser utilizado para fornecer informações específicas sobre a grandeza em causa e nunca deve ser a única fonte de informação sobre a grandeza. As unidades nunca devem ser utilizadas para dar informações complementares sobre a natureza da grandeza; este tipo de informação deve estar associado ao símbolo da grandeza e não ao da unidade.

Por exemplo:
 A diferença de potencial elétrico máxima é expressa na forma:
 $U_{\text{max}} = 1000 \text{ V}$
 e não $U = 1000 \text{ V}_{\text{max}}$.
 A fração mássica de cobre na amostra de silício é expressa na forma:
 $w(\text{Cu}) = 1,3 \times 10^{-6}$
 e não $1,3 \times 10^{-6} \text{ w/w}$.

5.4.3. Escrita do valor de uma grandeza

O valor numérico precede sempre a unidade e é sempre utilizado um espaço entre o número e a unidade. Assim, o valor duma grandeza sendo o produto de um número e duma unidade, o espaço entre o número e a unidade é considerado como um sinal de multiplicação (tal como o espaço entre as unidades). As únicas exceções para esta regra são os símbolos das unidades para o grau, o minuto e o 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 o grau Celsius é precedido de um espaço para expressar o valor da temperatura Celsius t .

Na língua portuguesa, mesmo quando o valor de uma grandeza é utilizado como adjetivo, deve ser deixado sempre um espaço entre o valor numérico e o símbolo da unidade.

Numa determinada expressão, deve utilizar-se apenas uma unidade. A expressão dos valores das grandezas “tempo” e “ângulo plano” por meio de unidades fora do SI é uma exceção a esta regra. No entanto, no que se refere ao ângulo plano, é geralmente preferível dividir o grau de maneira decimal. Assim, é preferível escrever $22,20^{\circ}$ ao invés de $22^{\circ}12'$, exceto nos domínios como a navegação, a cartografia, a astronomia e a medição de ângulos muito pequenos.

$m = 12,3 \text{ g}$ onde m é utilizado como símbolo para a grandeza “massa”, porém $\varphi = 30^{\circ} 22' 8''$, onde φ é utilizado como um símbolo para a grandeza “ângulo plano”.

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

$l = 10,234 \text{ m}$
e não
 $l = 10 \text{ m } 23,4 \text{ cm}$

5.4.4. Escrita dos números e separador decimal

O símbolo utilizado para separar a parte inteira de um número da sua parte decimal é designado de “separador decimal”. De acordo com a 22ª reunião da CGPM (2003, Resolução 10), “o símbolo do separador decimal pode ser o ponto ou a vírgula”. O separador decimal na língua portuguesa é a vírgula.

Se o número estiver entre $+1$ e -1 , o separador decimal é sempre precedido de um zero.

Conforme a decisão na 9ª reunião da CGPM (1948, Resolução 7) e na 22ª reunião da CGPM (2003, Resolução 10), os números com muitos algarismos podem ser divididos em grupos de três algarismos, separados por um espaço, de modo a facilitar a leitura. Esses grupos nunca são separados por pontos ou vírgulas. Todavia, quando houver somente quatro algarismos antes ou depois do separador decimal, é usual não utilizar um espaço para isolar um único algarismo. A prática de agrupar algarismos desta forma é uma questão de escolha pessoal; nem sempre é seguida em certos domínios especializados, tais como desenhos industriais, documentos financeiros e *scripts* que devem ser lidos por um computador.

O formato utilizado para a escrita de números numa tabela deve manter-se coerente numa mesma coluna.

$-0,234$ e não $-,234$

$43\,279,168\,29$
e não $43.279,168.29$

$3279,1683$
ou $3\,279,168\,3$

5.4.5. 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 documento JCGM 100:2008 (GUM 1995 *with minor corrections*), *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*. A incerteza padrão associada a uma grandeza x é designada por $u(x)$. Uma forma conveniente de representar a incerteza padrão é dada no seguinte exemplo:

$$m_n = 1,674\,927\,471\,(21) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

onde m_n é o símbolo da grandeza (neste caso a massa de um nêutron³³ e o número entre parênteses é o valor numérico da incerteza padrão referente aos dois últimos algarismos do valor estimado de m_n , nesse caso $u(m_n) = 0,000\,000\,021 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Se uma incerteza expandida $U(x)$ for utilizada em vez da incerteza padrão $u(x)$, então a probabilidade de abrangência³⁴ p e o fator de abrangência³⁵ k devem ser explicitados.

5.4.6. Multiplicação ou divisão dos símbolos das grandezas, dos valores das grandezas e dos números

Para multiplicar ou dividir os símbolos das grandezas, quaisquer uma das seguintes escritas pode ser utilizada:

$$ab, a\,b, a \cdot b, a \times b, a/b, \frac{a}{b}, ab^{-1}$$

Exemplos:

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

Na multiplicação de valores das grandezas, deve utilizar-se um sinal de multiplicação $\times$ ou parênteses (ou colchetes), mas não um ponto (centrado) a meia altura. Na multiplicação de números, deve ser utilizado apenas o sinal de multiplicação $\times$.

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

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

Na divisão de valores das grandezas por meio de uma barra oblíqua, deve utilizar-se parênteses (ou colchetes) para evitar qualquer ambiguidade.

$(20 \text{ m})/(5 \text{ s}) = 4 \text{ m/s}$
 $(a/b)/c$, e não $a/b/c$

5.4.7. Escrita dos valores das grandezas expressas por números

Conforme mencionado na seção 2.3.3, os valores das grandezas de unidade “um” são expressos simplesmente por números. O símbolo da unidade 1 ou o nome da unidade “um” não são escritos explicitamente. Como os símbolos dos prefixos do SI não podem ficar juntos ao símbolo 1, nem ao nome da unidade “um”, as potências de 10 são utilizadas para expressar os valores particularmente grandes ou pequenos.

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

As grandezas que são razões de grandezas da mesma natureza (por exemplo, razões de comprimento e frações molares) podem ser expressas com unidades (m/m, mol/mol) para facilitar a compreensão da grandeza expressa e para permitir a utilização dos prefixos do SI, se isso for preferível ($\mu\text{m}/\text{m}$, nmol/mol). Isso não é possível com as grandezas de contagem que são apenas números.

³³ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “neutrão”, enquanto que no Brasil se usa “nêutron”.

³⁴ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “probabilidade de expansão”, enquanto que no Brasil se usa “probabilidade de abrangência”.

³⁵ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “fator de expansão”, enquanto que no Brasil se usa “fator de abrangência”.

O símbolo % (por cento), que é internacionalmente reconhecido, pode ser usado com o SI. Quando é utilizado, deve inserir-se um espaço entre o número e o símbolo %. É preferível utilizar o símbolo % ao invés do nome “por cento”. Num texto escrito, o símbolo % geralmente significa “partes por centena”. As expressões tais como “percentagem de massa”, “percentagem de volume” ou “percentagem de quantidade de matéria”, não devem ser utilizadas; a informação sobre a grandeza em causa deve ser indicada pelo nome e pelo símbolo da grandeza.

O termo “ppm”, que significa 10^{-6} em valor relativo, ou 1×10^6 ou “partes por milhão” é também utilizado. A expressão é análoga a “por cento” no sentido de partes por uma centena. Os termos “parte por bilhão”³⁶ e “parte por trilhão”³⁷ e as respectivas abreviaturas “ppb” e “ppt” são também utilizadas, porém, como os respectivos significados variam conforme o idioma, é preferível evitar usá-las.

Nos países de língua inglesa³⁸, o termo bilhão (*billion*) é geralmente considerado como correspondendo a 10^9 e o termo trilhão (*trillion*) como correspondendo a 10^{12} ; no entanto³⁹, por vezes bilhão pode ser ainda interpretado como 10^{12} e um trilhão, como sendo 10^{18} . A abreviatura ppt é também por vezes lida (não na língua portuguesa) como uma parte por mil, causando confusão adicional.

5.4.8. Ângulos planos, ângulos sólidos e ângulos de fase

A unidade coerente do SI para o ângulo plano e o ângulo de fase é o radiano, símbolo rad, e a do ângulo sólido é o esferorradiano, símbolo sr.

Quando expresso em radianos, o ângulo plano entre duas linhas com origem num ponto comum é o comprimento dum arco circular s , varrido entre essas linhas por um vetor raio de comprimento r a partir do ponto comum, dividido pelo comprimento do vetor raio, $\theta = s/r$ rad. O ângulo de fase (muitas vezes chamado de “fase”) é o argumento de qualquer número complexo. É o ângulo entre o eixo real positivo e o raio da representação polar do número complexo no plano complexo.

Um radiano corresponde ao ângulo para o qual $s = r$, assim $1 \text{ rad} = 1$. A medição do ângulo reto é exatamente igual ao número $\pi/2$.

O grau é uma convenção histórica. A conversão entre radianos e graus tem origem na relação $360^\circ = 2\pi \text{ rad}$. Observe que o grau, símbolo $^\circ$, não é uma unidade do SI.

O ângulo sólido, expresso em esferorradianos corresponde à razão entre uma área A da superfície de uma esfera de raio r e o raio ao quadrado, $\Omega = A/r^2 \text{ sr}$. Um esferorradiano corresponde ao ângulo sólido para o qual $A = r^2$, assim $1 \text{ sr} = 1$.

As unidades rad e sr correspondem às razões de dois comprimentos e dois comprimentos ao quadrado, respectivamente. Contudo, deve ser enfatizado que as unidades rad e sr apenas devem ser utilizadas para exprimir ângulos e ângulos sólidos, mas não para exprimir razões de comprimentos ou de comprimentos ao quadrado, em geral.

Quando o SI foi adotado na 11ª reunião da CGPM em 1960, a classe de “unidades suplementares” foi criada para incluir o radiano e o esferorradiano. Décadas depois, o CGPM decidiu: “interpretar as unidades suplementares no SI, i.e. o radiano e esferorradiano, como unidades derivadas adimensionais, cujos nomes e símbolos podem ser utilizados, mas não necessariamente, nas expressões de outras unidades derivadas SI, consoante as necessidades”, e eliminar a classe das unidades suplementares enquanto classe separada no SI (Resolução 8 da 20ª reunião da CGPM (1995)).

³⁶ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “bilião”, enquanto que no Brasil se usa “bilhão”.

³⁷ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “trilião”, enquanto que no Brasil se usa “trilhão”.

³⁸ Nota dos tradutores: exatamente como é considerado no Brasil.

³⁹ Nota dos tradutores: exatamente como é considerado em Portugal.

Apêndice 1. Decisões da CGPM e do CIPM

Este apêndice lista aquelas decisões da CGPM e do CIPM que se referem diretamente às definições das unidades do SI, aos prefixos definidos para uso como parte do SI e às convenções relativas à grafia dos símbolos das unidades e dos números. Para uma lista completa, deve-se recorrer aos volumes sucessivos dos *Comptes Rendus des Séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures* (CR) e *Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures* (PV) ou, para decisões recentes, à revista *Metrologia*.

Uma vez que o SI não é uma convenção estática, mas evolui seguindo os desenvolvimentos na ciência de medição, algumas decisões têm sido revogadas ou modificadas; outras têm sido esclarecidas por complementações. As decisões que foram sujeitas a tais modificações estão identificadas por um asterisco (*) e estão vinculadas por uma nota à decisão de modificação.

O texto original de cada decisão (ou a sua tradução) é mostrado com uma fonte diferente (sans serif) para distingui-lo do texto principal. Os asteriscos e notas foram incluídos pelo BIPM para tornar o texto mais compreensível. Eles não fazem parte do texto original.

As decisões da CGPM e do CIPM são apresentadas neste apêndice em estrita ordem cronológica, de 1889 a 2018, para preservar a continuidade com que foram tomadas. Todavia, para facilitar a localização das decisões relativas a tópicos específicos, foi incluída uma tabela abaixo, ordenada por assunto, com referências às páginas de reuniões específicas, nas quais foram tomadas as decisões relacionadas a cada assunto.

Sumário do apêndice 1

	Pág.
Decisões relacionadas ao estabelecimento do SI	
9ª CGPM, 1948:	decisão de estabelecer o SI 38
10ª CGPM, 1954:	decisão de adotar as primeiras seis unidades de base 41
CIPM 1956:	decisão de adotar o nome “Système International d’Unités” 42
11ª CGPM, 1960:	Confirmação do nome e a abreviatura “SI”, nomes dos prefixos de tera a pico, estabelecimento das unidades suplementares rad e sr, estabelecimento da lista de algumas unidades derivadas 43
CIPM, 1969:	declarações relativas às unidades de base, suplementares, derivadas e coerentes, e o uso dos prefixos 51
CIPM, 2001:	“unidades SI” e “unidades do SI” 66
23ª CGPM, 2007:	possível redefinição de certas unidades de base do Sistema Internacional de unidades, o SI 75
24ª CGPM, 2011:	possível revisão futura do Sistema Internacional de unidades, o SI 79
25ª CGPM, 2014:	futura revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI 87
26ª CGPM, 2018:	revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI (para entrar em vigor em 20 de maio de 2019) 91
Decisões relacionadas às unidades de base do SI	
Comprimento	
1ª CGPM, 1889:	sanção do Protótipo do metro 35
7ª CGPM, 1927:	definição e uso do Protótipo do metro 36
10ª CGPM, 1954:	adoção do metro como unidade de base 41
11ª CGPM, 1960:	redefinição do metro por meio da radiação de criptônio ⁴⁰ 86 43
15ª CGPM, 1975:	recomendação do valor da velocidade da luz 54
17ª CGPM, 1983:	redefinição do metro em função da velocidade da luz, realização (<i>mise en pratique</i>) da definição do metro 58
CIPM, 2002:	especifica as regras para a realização prática da definição do metro 66
CIPM, 2003:	revisão da lista das radiações recomendadas 70
CIPM, 2005:	revisão da lista das radiações recomendadas 71
CIPM, 2007:	revisão da lista das radiações recomendadas 74
23ª CGPM, 2007:	revisão da <i>mise en pratique</i> da definição do metro e o desenvolvimento de novos padrões ópticos de frequência 75
CIPM, 2009:	atualização da lista das frequências padrão 78
24ª CGPM, 2011:	possível revisão futura do Sistema Internacional de unidades, o SI 79
24ª CGPM, 2011:	revisão da <i>mise en pratique</i> da definição do metro e desenvolvimento de novos padrões ópticos de frequência 79
CIPM, 2013:	atualização da lista das frequências padrão 85
26ª CGPM, 2018:	revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI (para entrar em vigor em 20 de maio de 2019) 91

⁴⁰ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “cripton”, enquanto que no Brasil se usa “criptônio”.

		Pág.
Massa		
1ª CGPM, 1889:	sanção do Protótipo do kilograma	35
3ª CGPM, 1901:	declaração sobre a distinção entre massa e peso, e o valor convencional de g_n	36
10ª CGPM, 1954:	adoção do kilograma como unidade de base	41
CIPM, 1967:	declaração sobre a aplicação de prefixos ao grama	48
21ª CGPM, 1999:	futura redefinição do kilograma	64
23ª CGPM, 2007:	possível redefinição de algumas unidades de base do Sistema Internacional de Unidades (SI)	75
24ª CGPM, 2011:	possível revisão futura do Sistema Internacional de Unidades, o SI	79
25ª CGPM, 2014:	futura revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI	87
26ª CGPM, 2018:	revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI (para entrar em vigor em 20 de maio de 2019)	91
Tempo		
10ª CGPM, 1954:	adoção do segundo como unidade de base	41
CIPM, 1956:	definição do segundo como uma fração do ano tropical 1900	42
11ª CGPM, 1960:	ratificação da definição do Segundo dada pelo CIPM em 1956	43
CIPM, 1964:	declaração da utilização da transição hiperfina de césio 133 como o padrão recomendado	46
12ª CGPM, 1964:	capacita o CIPM para investigar padrões de frequência atômica e molecular	47
13ª CGPM, 1967/68:	definição do segundo por meio da transição do césio	48
CCDS, 1970:	definição do Tempo Atômico Internacional, TAI	52
14ª CGPM, 1971:	pedido ao CIPM para definir e estabelecer o Tempo Atômico Internacional, TAI	52
15ª CGPM, 1975:	aprovação do uso do Tempo Universal Coordenado, UTC	54
CIPM, 2006:	representações secundárias do segundo	73
23ª CGPM, 2007:	sobre a revisão da <i>mise en pratique</i> da definição do metro e o desenvolvimento de novos padrões ópticos de frequência	75
CIPM, 2009:	atualizações da lista das frequências padrão	78
24ª CGPM, 2011:	possível revisão futura do Sistema Internacional de unidades, o SI	79
24ª CGPM, 2011:	revisão da <i>mise en pratique</i> do metro e o desenvolvimento de novos padrões ópticos de frequência	79
CIPM, 2013:	atualizações da lista das frequências padrão	85
CIPM, 2015:	atualizações da lista das frequências padrão	89
26ª CGPM, 2018:	revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI (para entrar em vigor em 20 de maio de 2019)	91
Unidades elétricas		
CIPM, 1946:	definições das unidades elétricas coerentes no sistema de unidades metro-kilograma-segundo (MKS) (para entrar em vigor em 1 de janeiro de 1948)	37
10ª CGPM, 1954:	adoção do ampere como uma unidade de base	41
14ª CGPM, 1971:	adoção do nome siemens, símbolo S, para a condutância elétrica	52
18ª CGPM, 1987:	próximo ajuste às representações do volt e do ohm	60

		Pág.
CIPM, 1988:	definição do valor convencional da constante de Josephson (para entrar em vigor em 1 de janeiro de 1990)	61
CIPM, 1988:	definição do valor convencional da constante de von Klitzing (para entrar em vigor em 1 de janeiro de 1990)	61
23ª CGPM, 2007:	possível redefinição de certas unidades de base do Sistema Internacional de Unidades, o SI	75
24ª CGPM, 2011:	possível revisão futura do Sistema Internacional de Unidades, o SI	79
25ª CGPM, 2014:	revisão futura do Sistema Internacional de Unidades, o SI	87
26ª CGPM, 2018:	revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI (para entrar em vigor em 20 de maio 2019)	91
Temperatura termodinâmica		
9ª CGPM, 1948:	adoção do ponto triplo da água como o ponto de referência da temperatura termodinâmica, adoção do grau Celsius e definição do zero como sendo a temperatura de referência 0,01 grau abaixo do ponto triplo da água	38
CIPM, 1948:	adoção do nome grau Celsius para a escala de temperatura Celsius	38
10ª CGPM, 1954:	definição de temperatura termodinâmica tal que o ponto triplo da água é 273,16 graus Kelvin exatamente, definição da atmosfera padrão	41
10ª CGPM, 1954:	adoção do grau Kelvin como uma unidade de base	41
13ª CGPM, 1967/68:	definição formal do kelvin, símbolo K	48
CIPM, 1989:	a Escala Internacional de Temperatura de 1990, ITS-90	51
CIPM, 2005:	nota adicionada à definição do kelvin sobre a composição isotópica da água	71
23ª CGPM, 2007:	esclarecimento da definição do kelvin, unidade de temperatura termodinâmica	75
23ª CGPM, 2007:	possível redefinição de certas unidades de base do Sistema Internacional de Unidades, o SI	75
24ª CGPM, 2011:	possível revisão futura do Sistema Internacional de Unidades, o SI	79
25ª CGPM, 2014:	revisão futura do Sistema Internacional de Unidades, o SI	87
26ª CGPM, 2018:	revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI (para entrar em vigor em 20 de maio de 2019)	91
Quantidade de matéria		
14ª CGPM, 1971:	definição do mol, símbolo mol, como a sétima unidade de base, e regras para o respectivo uso	52
21ª CGPM, 1999:	adoção do nome especial katal, kat	64
23ª CGPM, 2007:	sobre a possível redefinição de algumas unidades de base do Sistema Internacional de Unidades, o SI	75
24ª CGPM, 2011:	possibilidade de revisão futura do Sistema Internacional de Unidades, o SI	79
25ª CGPM, 2014:	revisão futura do Sistema Internacional de Unidades, o SI	87
26ª CGPM, 2018:	revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI (para entrar em vigor a partir de 20 de maio de 2019)	91

	Pág.
Intensidade luminosa	
CIPM, 1946: definição das unidades fotométricas, a nova vela e o novo lúmen (para entrar em vigor em 1 de janeiro de 1948)	37
10ª CGPM, 1954: adoção da candela como unidade de base	41
13ª CGPM, 1967/68: definição da candela, símbolo cd, em função de um irradiador ⁴¹ do tipo corpo negro	48
16ª CGPM, 1979: redefinição da candela por meio de uma radiação monocromática	55
24ª CGPM, 2011: possibilidade de revisão futura do Sistema Internacional de Unidades, o SI	63
26ª CGPM, 2018: revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI (para entrar em vigor em 20 de maio de 2019)	91
Decisões relativas às unidades derivadas e suplementares do SI	
Unidades derivadas do SI	
12ª CGPM, 1964: aceitação da manutenção do uso do curie como unidade fora do SI	47
13ª CGPM, 1967/68: lista alguns exemplos de unidades derivadas	48
15ª CGPM, 1975: adoção dos nomes especiais bequerel, Bq, e gray, Gy	54
16ª CGPM, 1979: adoção do nome especial sievert, Sv	55
CIPM, 1984: decide esclarecer o relacionamento entre dose absorvida (unidade do SI gray) e equivalente de dose (unidade do SI sievert)	59
CIPM, 2002: modificação do relacionamento entre dose absorvida e equivalente de dose	66
Unidades suplementares	
CIPM, 1980: decisão de interpretar as unidades suplementares como unidades derivadas adimensionais	57
20ª CGPM, 1995: decisão de revogar a classe de unidades suplementares, e confirmação da interpretação do CIPM de que são unidades derivadas adimensionais	64
Decisões sobre terminologia e aceitação de unidades para uso com o SI	
Prefixos do SI	
12ª CGPM, 1964: decisão de adicionar femto e atto à lista dos prefixos	47
15ª CGPM, 1975: decisão de adicionar peta e exa à lista dos prefixos	54
19ª CGPM, 1991: decisão de adicionar zetta, zepto, yotta e yocto à lista dos prefixos	63
Números e símbolos das unidades	
9ª CGPM, 1948: decisão sobre as regras de escrita dos símbolos das unidades	38
Nomes das unidades	
13ª CGPM, 1967/68: revogação do uso do micron e da nova vela como unidades para uso com o SI	48

⁴¹ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “radiador”, enquanto que no Brasil se usa “irradiador”.

	Pág.
Separadores decimais	
22ª CGPM, 2003: decisão de permitir o uso do ponto ou da vírgula sobre a linha como o separador decimal	70
Unidades aceitas para uso com o SI: um exemplo, o litro	
3ª CGPM, 1901: definição do litro como o volume de 1 kg de água	36
11ª CGPM, 1960: pedido ao CIPM que estude a diferença entre o litro e o decímetro cúbico	43
CIPM, 1961: recomendação de expressar o volume em unidades do SI e não em litros	46
12ª CGPM, 1964: revogação da definição anterior do litro recomendação de que o litro possa ser utilizado como um nome especial para o decímetro cúbico	46
16ª CGPM, 1979: decisão, a título excepcional, de permitir o uso de ambos os símbolos l e L para o litro	55

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 Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM)” e o “Relatório do CIPM”, que mostram que, com a colaboração da seção francesa da Comissão Internacional do Metro e do CIPM, as medições fundamentais dos protótipos internacionais e nacionais do metro e do kilograma foram feitas com toda a exatidão e confiabilidade que o estado atual da ciência permite;
- que os protótipos internacionais e nacionais do metro e do kilograma são feitos de uma liga de platina com 10 por cento de irídio, com uma resolução de 0,0001;
- a igualdade em comprimento do Metro internacional e a igualdade em massa do Kilograma internacional com o comprimento do Metro e a massa do Kilograma mantidos nos Arquivos de França;
- que as diferenças entre os Metros nacionais e o Metro internacional estão dentro de 0,01 milímetro e que essas diferenças são baseadas numa escala de termômetro de hidrogênio que pode ser sempre reproduzido graças à estabilidade do hidrogênio, desde que condições idênticas sejam garantidas;
- que as diferenças entre os Kilogramas nacionais e o Kilograma internacional estão dentro de 1 milígrama;
- que o Metro e o Kilograma internacionais e os Metros e Kilograma nacionais cumprem os requisitos da Convenção do Metro,

sanciona

A. No que diz respeito aos protótipos internacionais:

1. O Protótipo do metro escolhido pelo CIPM. Este protótipo, na temperatura de fusão do gelo, daqui por diante, representará a unidade métrica de comprimento.
2. O Protótipo do kilograma adotado pelo CIPM. Este protótipo será doravante considerado como a unidade de massa.
3. A escala centígrada do termômetro de hidrogênio em termos da qual as equações do protótipo do Metro foram estabelecidas.

B. No que diz respeito a protótipos nacionais:

...

* A definição do metro foi revogada em 1960 pela 11ª CGPM (Resolução 6, ver pág. 43).

3ª CGPM, 1901

■ Declaração sobre a definição do litro (CR, 38 – 39)*

...

A Conferência declara

1. A unidade de volume, para determinações de alta exatidão, é o volume ocupado por uma massa de 1 kilograma de água pura, na sua densidade máxima e na pressão atmosférica padrão: esse volume é denominado “litro”.
2. ...

■ Declaração sobre a unidade de massa e sobre a definição de peso; valor convencional de g_n (CR, 70)

Levando em conta a decisão do Comitê Internacional de Pesos e Medidas de 15 de outubro de 1887, segundo a qual o kilograma foi definido como unidade de massa;

Levando em conta a decisão contida na sanção dos protótipos do Sistema Métrico, unanimemente aceita pela Conferência Geral de Pesos e Medidas de 26 de setembro de 1889;

Considerando a necessidade de acabar com a ambiguidade que ainda existe na prática corrente sobre o significado da palavra peso, usada algumas vezes para massa, outras vezes para força mecânica;

A Conferência declara

1. O kilograma é a unidade de massa; é igual à massa do protótipo internacional do kilograma;*
2. A palavra “peso” denota uma grandeza da mesma natureza que uma “força”: o peso de um corpo é o produto da sua massa pela aceleração devido à gravidade; em particular, o peso padrão de um corpo é o produto da sua massa pela aceleração padrão da gravidade;
3. O valor adotado no Serviço Internacional de Pesos e Medidas para a aceleração padrão devido à gravidade é de $980,665 \text{ cm/s}^2$, valor já declarado nas legislações de alguns países.**

* Esta definição foi revogada em 1964 pela 12ª CGPM (Resolução 6, ver pág. 47).

* Esta definição foi revogada em 2018 pela 26ª CGPM (Resolução 1, ver pág. 91).

**Este valor de g_n foi o valor convencional de referência para o cálculo da agora obsoleta unidade kilograma força.

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 das duas linhas centrais marcadas na barra de platina-irídio mantida no *Bureau* Internacional de Pesos e Medidas e declarado Protótipo do metro pela 1ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, sendo essa barra sujeita à pressão atmosférica padrão e apoiada em dois cilindros de, pelo menos, um centímetro de diâmetro, colocados simetricamente no mesmo plano horizontal a uma distância de 571 mm entre si.

* Esta definição foi revogada em 1960 pela 11ª CGPM (Resolução 6, ver pág. 43).

CIPM, 1946

■ Definições de unidades fotométricas (PV, 20, 119-122)*

Resolução

...

4. As unidades fotométricas podem ser definidas da seguinte forma:

Nova vela (unidade de intensidade luminosa). O valor da nova vela é tal que o brilho do radiador completo na temperatura de solidificação⁴² da platina é de 60 novas velas por centímetro quadrado.

Novo lúmen (unidade de fluxo luminoso). O novo lúmen é o fluxo luminoso emitido no ângulo sólido unitário esferorradiano por uma fonte pontual uniforme com intensidade luminosa de 1 nova vela.

5. ...

* As duas definições contidas nesta Resolução foram ratificadas em 1948 pela 9ª CGPM, a qual também aprovou o nome candela dado para a “nova vela” (CR, 54). Para o lúmen, o qualificador “novo” foi abandonado posteriormente.

Esta definição foi modificada em 1967 pela 13ª CGPM (Resolução 5, ver pág. 48).

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

Resolução 2

...

4. (A) Definições das unidades mecânicas que entram nas definições de 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 uma aceleração de 1 metro por segundo, por segundo.

Joule (unidade de energia ou de trabalho). — O joule é o trabalho realizado quando o ponto de aplicação de 1 unidade de força MKS (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 de unidades elétricas. O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) aceita as proposições seguintes que definem o valor teórico das unidades elétricas:

Ampere (unidade 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

As definições contidas nesta Resolução foram ratificadas em 1948 pela 9ª CGPM (CR, 49), que também adotou o nome newton (Resolução 7, ver pág. 38) para a unidade de força MKS.

Em 1954, a 10ª CGPM (Resolução 6, ver pág. 41) estabeleceu um sistema prático de unidades de medida para uso internacional. O ampere foi designado como unidade de base deste sistema.

* Esta definição do ampere foi revogada em 2018 pela 26ª CGPM (Resolução 1, ver pág. 91).

⁴² Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “temperatura de congelação”, enquanto que no Brasil se usa “temperatura de solidificação”.

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 capacitância de um capacitor⁴³ entre as placas do qual aparece uma diferença de potencial de 1 volt quando é carregado por uma quantidade de eletricidade de 1 coulomb.

Henry (unidade de indutância elétrica). — O henry é a indutância 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, enlaçando um circuito de uma espira, produziria nele uma força eletromotriz de 1 volt se fosse reduzido a zero a uma taxa uniforme em 1 segundo.

9ª CGPM, 1948

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

O kelvin foi redefinido pela 26ª CGPM em 2018 (Resolução 1, ver pág. 91).

Resolução 3

1. Com as técnicas atuais, o ponto triplo da água é capaz de fornecer um ponto de referência termométrico com uma exatidão maior do que a que pode ser obtida a partir do ponto de fusão do gelo.

Em consequência, o *Comité Consultatif de Thermométrie et Calorimétrie* (CCTC) considera que o zero da escala centesimal termodinâmica deve ser definido como a temperatura 0,0100 graus abaixo da do ponto triplo da água.

2. O CCTC admite o princípio de uma escala termodinâmica absoluta com um único ponto fixo fundamental, presentemente proporcionado pelo ponto triplo da água pura, cuja temperatura absoluta será fixada posteriormente. A introdução desta nova escala não prejudica em nada a utilização da Escala Internacional, que continua a ser a escala prática recomendada.
3. A unidade de quantidade de calor é o joule.

Nota: Solicita-se que os resultados dos experimentos calorimétricos sejam, tanto quanto possível, expressos em joules. Se os experimentos forem feitos por comparação com a elevação da

⁴³ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “condensador”, enquanto que no Brasil se usa “capacitor”.

temperatura da água (e que, por algum motivo, não seja possível evitar o uso da caloria), devem ser fornecidas as informações necessárias para a conversão para joules. O CIPM, assessorado pelo CCTC, deve preparar uma tabela dando, em joules por grau, os valores mais precisos que podem ser obtidos em experimentos com o calor específico da água.

Uma tabela, preparada em resposta a este pedido, foi aprovada e publicada pelo CIPM em 1950 (PV, 22, 92).

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

A partir de três nomes (“grau centigrado”, “grau centesimal”, “grau Celsius”) propostos para denotar o grau de temperatura, o CIPM escolheu “grau Celsius” (PV, 21, 88).

Este nome também é adotado pela 9ª CGPM (CR, 64).

■ **Proposta para estabelecer um sistema prático de unidades de medida (CR, 64)**

Resolução 6

A Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando

- que o Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) foi solicitado *pela International Union of Physics* a adotar para uso internacional um *Système International d'Unités* prático; que a *International Union of Physics* recomenda o sistema MKS e uma unidade elétrica do sistema prático absoluto, mas não recomenda que o sistema CGS seja abandonado pelos físicos;
- que a própria CGPM recebeu do Governo francês um pedido semelhante, acompanhado de um projeto a ser utilizado como base de discussão para o estabelecimento de uma especificação completa das unidades de medida;

instrui o CIPM a:

- procurar, por meio de inquérito oficial enérgico, ativo, a opinião dos meios científicos, técnicos e educacionais de todos os países (dando-lhes, de fato, o documento francês);
- recolher e estudar as respostas;
- fazer recomendações para um único sistema prático de unidades de medida, adequado para adoção por todos os países que aderem à Convenção do Metro.

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

Resolução 7

Princípios

Os símbolos das unidades são escritos 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 francês) ou o ponto (modo britânico) são utilizados nos números somente para separar a parte inteira da respectiva parte decimal. A fim de facilitar a leitura, os números podem ser repartidos em grupos de três algarismos; estes grupos nunca são separados por pontos ou por vírgulas.

* A CGPM revogou certas decisões relativas às unidades e à terminologia, em especial aquelas relativas ao micron, grau absoluto, aos termos “grau”, e “deg” (13ª CGPM, 1967/68, resoluções 7 e 3, ver página 48, respectivamente), e ao litro (16ª CGPM, 1979, resolução 6, ver pág. 55).

Unidade	Símbolo	Unidade	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 (nova vela)	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 por ponto correspondem aos que já haviam sido adotados por decisão do CIPM.
2. O símbolo para o estéreo, unidade de medida empregada para volume de lenha, terá por símbolo “st” e não mais “s”, como o CIPM tinha atribuído anteriormente.
3. Um intervalo ou uma diferença de temperatura (mas não para uma temperatura) deve ser escrito com a palavra “grau” por extenso (em francês ou inglês, que têm as palavras *degré* ou *degree* respectivamente, também pode ser empregada a abreviatura “deg”).

10ª CGPM, 1954

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

Resolução 3

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

* A 13ª CGPM em 1967 definiu explicitamente o kelvin (Resolução 4, ver pág. 48).

* O kelvin foi redefinido pela 26ª CGPM em 2018 (Resolução 1, ver pág. 91).

■ Definição da atmosfera padrão (CR, 79)

Resolução 4

A 10ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, tendo notado que a definição de atmosfera padrão dada pela 9ª CGPM ao definir a Escala Internacional de Temperatura levou alguns físicos a pensar que esta definição da atmosfera padrão era válida apenas para os trabalhos de termometria de precisão,

declara que adota, para uso geral, a definição:

1 atmosfera padrão = 1 013 250 dinas⁴⁴ por centímetro quadrado,

ou seja, 101 325 newtons por metro quadrado

■ Sistema prático de unidades (CR, 80)*

Resolução 6

A 10ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, em cumprimento do desejo expresso na Resolução 6 da 9ª Conferência Geral sobre a criação de um sistema prático de unidades de medida para as relações internacionais,

decide adotar como unidades básicas do sistema, as seguintes unidades:

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

* O nome da unidade de temperatura termodinâmica foi alterado para “kelvin” em 1967 pela 13ª CGPM (Resolução 3, ver pág. 48).

⁴⁴ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “dynes”, enquanto que no Brasil se usa “dinas”.

CIPM, 1956

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

* Definição revogada em 1967 pela 13ª CGPM (Resolução 1, ver pág. 48).

Resolução 1

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

considerando

1. que a 9ª Assembleia Geral da União Astronômica Internacional (Dublin, 1955) declarou-se a favor da vinculação do segundo ao ano tropical,
2. que, de acordo com as decisões da 8ª Assembleia Geral da União Astronômica Internacional (Roma, 1952), o segundo do tempo de efeméride (T. E.) é a fração $\frac{12\,960\,276\,813}{408\,986\,496} \times 10^{-9}$ do ano tropical para 0 de janeiro de 1900 às 12 h do T. E.,

decide

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

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

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

considerando

- a missão que lhe foi confiada pela Resolução 6 da 9ª Conferência Geral de Pesos e Medidas, sobre o estabelecimento de um sistema prático de unidades de medida passíveis de serem adotadas por todos os países signatários da Convenção do Metro,
- os documentos recebidos de vinte e um países em resposta ao inquérito solicitado pela 9ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,
- Resolução 6 da 10ª CGPM, fixando a escolha das unidades base do sistema a ser estabelecido,

recomenda

1. que seja designado como "Sistema Internacional de Unidades", o sistema baseado nas unidades de base adotadas na 10ª Conferência Geral, que são:

[Segue-se a lista das seis unidades de base com os seus símbolos, reproduzida na Resolução 12 da 11ª CGPM (1960)].

2. que sejam utilizadas as unidades deste sistema apresentadas na tabela a seguir, sem prejuízo de outras unidades que venham a ser adicionadas no futuro:

[Segue-se a tabela de unidades reproduzida no parágrafo 4.º 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 (CGPM),

considerando

- que o Protótipo internacional não define o metro com uma exatidão adequada para as atuais necessidades da metrologia,
- que é por outro lado 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 dos níveis $2p_{10}$ e $5d_5$ do átomo de criptônio-86.
2. A definição do metro em vigor desde 1889, baseada no Protótipo Internacional de platina iridiada, é revogada.
3. O Protótipo internacional do metro sancionado pela 1ª Conferência Geral de Pesos e Medidas em 1889, será conservado no *Bureau* Internacional de Pesos e Medidas, nas condições fixadas em 1889.

* Definição revogada em 1983 pela 17ª CGPM (Resolução 1, veja pág 58).

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

Resolução 9

A 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando

o poder conferido, pela 10ª Conferência Geral sobre Pesos e Medidas, ao Comitê Internacional de Pesos e Medidas para tomar uma decisão sobre a definição da unidade fundamental do tempo, a decisão tomada no Comitê Internacional de Pesos e Medidas na sua sessão de 1956,

ratifica a seguinte definição:

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

* Definição revogada em 1967 pela 13ª CGPM (Resolução 1, ver pág. 48).

■ Sistema Internacional de Unidades (CR, 87)*

Resolução 12

A 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando

* A CGPM posteriormente revogou algumas das suas decisões e estendeu a lista de prefixos do SI: ver notas abaixo.

- a Resolução 6 da 10ª CGPM, na qual foram adotadas as seis unidades que devem servir de base para o estabelecimento de um sistema prático de medidas para as relações internacionais:

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

O nome e o símbolo da unidade de temperatura termodinâmica foram modificados pela 13ª CGPM em 1967 (Resolução 3, ver pág. 48).

- a Resolução 3 adotada pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) em 1956,
- as recomendações adotadas pelo CIPM em 1958 sobre a abreviatura do nome deste sistema, e os prefixos para a formação dos múltiplos e submúltiplos das unidades,

decide

- o sistema baseado nas seis unidades de base acima mencionadas é designado por “*Système International d’Unités*”;
- a abreviatura internacional do nome deste Sistema é: SI;
- nomes dos múltiplos e submúltiplos das unidades são formados por meio dos seguintes prefixos:

Uma sétima unidade de base, o mol, foi adotada pela 14ª CGPM em 1971 (Resolução 3, ver pág. 52).

Fator de multiplicação	Prefixo	Símbolo	Foram adotados outros prefixos pela
1 000 000 000 000 = 10^{12}	tera	T	12ª CGPM em 1964
1 000 000 000 = 10^9	giga	G	(Resolução 8, ver pág. 47), pela 15ª CGPM em 1975
1 000 000 = 10^6	mega	M	(Resolução 10, ver pág. 54)
1 000 = 10^3	kilo	k	e pela 19ª CGPM em 1991 (Resolução 4, ver pág. 63).
100 = 10^2	hecto	h	
10 = 10^1	deca	da	
0,1 = 10^{-1}	deci	d	
0,01 = 10^{-2}	centi	c	
0,001 = 10^{-3}	mili	m	
0,000 001 = 10^{-6}	micro	μ	
0,000 000 001 = 10^{-9}	nano	n	
0,000 000 000 001 = 10^{-12}	pico	p	

- as unidades listadas abaixo são usadas no sistema, sem excluir outras que possam ser adicionadas mais tarde.

Unidades Suplementares

ângulo plano	radiano	rad
ângulo sólido	esferorradiano	sr

A 20ª CGPM revogou em 1995 a classe de unidades suplementares do SI (Resolução 8, ver pág. 64). Estas são agora 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 ⁴⁵	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/carga elétrica	coulomb	C	A · s
tensão (voltagem), 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	farad	F	A · s/V
fluxo magnético	weber	Wb	V · s

A 13ª CGPM em 1967 (Resolução 6, ver pág. 48) acrescentou outras unidades a esta lista de unidades derivadas, que, em princípio, não é limitativa.

⁴⁵ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “esforço mecânico”, enquanto que no Brasil se usa “tensão mecânica”.

indutância	henry	H	$V \cdot s/A$
densidade de fluxo magnético	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

■ Decímetro cúbico e litro (CR, 88)

Resolução 13

A 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando

- que o decímetro cúbico e o litro são diferentes e diferem em cerca de 28 partes em 10⁶,
- que a determinação das grandezas físicas que envolvem a medição de volume têm uma exatidão cada vez mais elevada, aumentando o risco de uma possível confusão entre o decímetro cúbico e o litro,

convida o Comitê Internacional de Pesos e Medidas a estudar este problema e a apresentar as suas conclusões na 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 exatas de volume sejam expressos em unidades do Sistema Internacional e não em litros.

CIPM, 1964

■ Padrões de frequência atômica e molecular (PV, 32, 26)

Declaração

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

autorizado pela Resolução 5 da 12ª Conferência Geral de Peso e Medidas, para designar padrões de frequência atômica ou molecular a serem temporariamente utilizados em medições físicas do 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 de césio 133 não perturbado por campos externos, e que é atribuído o valor de 9 192 631 770 hertz à frequência desta transição.

12ª CGPM, 1964

■ Padrões de frequência atômica (CR, 93)

Resolução 5

A 12ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando

- que a 11ª CGPM observou na sua Resolução 10 a urgência, no interesse na metrologia de elevada exatidão, de adotar um padrão atômico ou molecular de intervalos de tempo,
- que, apesar dos resultados obtidos na utilização de padrões de frequência atômica de césio, ainda não é o momento de a Conferência Geral adotar uma nova definição do segundo, unidade de base do Sistema Internacional de Unidades, em virtude dos novos e importantes avanços que podem ser obtidos como resultado dos estudos a decorrer,
- **considerando também** que não é desejável esperar mais para fundamentar as medições físicas do tempo em padrões de frequência atômica ou molecular,
- **capacita** o Comitê Internacional de Pesos e Medida para designar padrões de frequência atômicos ou moleculares a utilizar temporariamente

convida as organizações e os laboratórios especialistas nesta área a continuar os estudos que levem a uma nova definição do segundo.

■ Litro (CR, 93)

Resolução 6

A 12ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

- **considerando** a Resolução 13 adotada pela 11ª CGPM em 1960 e a Recomendação adotada pelo Comitê Internacional de Pesos e Medida em 1961,
1. **revoga** a definição do litro dada em 1901 pela 3ª CGPM,
 2. **declara** que a palavra “litro” pode ser utilizada como um nome especial dado ao decímetro cúbico,
 3. **recomenda** que o nome litro não seja utilizado para exprimir os resultados de medições de volume de elevada exatidão.

■ **Curie (CR, 94)*****Resolução 7**

A 12ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando que por muito tempo o curie tem sido utilizado em muitos países como uma unidade para a atividade de radionuclídeos,

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

aceita que o curie seja mantido como uma unidade fora do SI, para a atividade de radionuclídeos, com o valor $3,7 \times 10^{10} s^{-1}$. O símbolo para esta unidade é Ci.

* O nome “becquerel” (Bq) foi adotado pela 15ª CGPM em 1975 (Resolução 8, ver pág. 54) para a unidade do SI da atividade de radionuclídeos:
1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq.

■ **Prefixos do SI femto e atto (CR, 94)*****Resolução 8**

A 12ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM)

decide adicionar à lista de prefixos para a formação de nomes de múltiplos e submúltiplos de unidades, adotada na 11ª Conferência Geral, Resolução 12, parágrafo 3, os seguintes dois novos prefixos:

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

* Foram adicionados novos prefixos na 15ª CGPM em 1975 (Resolução 10, ver pág. 54).

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 para a formação dos nomes de múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do parágrafo 3, da Resolução 12 da 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (1960), pode dar origem a interpretações divergentes na aplicação à unidade de massa,

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

13ª CGPM, 1967/68■ **Unidade SI de tempo (segundo) (CR, 103 e *Metrologia*, 1968, 4, 43)**

Resolução 1

A 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando

que a definição do segundo adotada pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas em 1956 (Resolução 1) e ratificada pela Resolução 9 da 11ª CGPM (1960), posteriormente sustentada pela Resolução 5 da 12ª CGPM (1964), é inadequada para as necessidades atuais da metrologia,

- que na sua reunião de 1964 o Comitê Internacional de Pesos e Medidas, habilitado pela Resolução 5 da 12ª CGPM (1964), recomendou para resposta a esses requisitos, um padrão atômico de frequência de césio para uso temporário,
- que este padrão de frequência foi agora suficientemente testado e considerado suficientemente exato para fornecer uma definição do segundo cumprindo os requisitos presentes,
- que chegou a hora de substituir a definição atualmente em vigor da unidade de tempo do Sistema Internacional de Unidades por uma definição atômica baseada neste padrão,

decide

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

“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”,

2. que a Resolução 1 adotada pelo CIPM na sua reunião de 1956 e a Resolução 9 da 11ª CGPM são agora revogadas.

Na sua reunião de 1997, o CIPM confirmou que esta definição se refere a um átomo de césio em repouso, a uma temperatura de 0 K. A formulação da definição do segundo foi modificada pela CGPM na sua 26ª reunião em 2018 (Resolução 1, ver pág. 91).

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

Resolução 3

A 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando

- os nomes “grau Kelvin” e “grau”, os símbolos “°K” e “deg” e as regras para o seu uso dadas na Resolução 7 da 9ª CGPM (1948), na Resolução 12 da 11ª CGPM (1960), e a decisão tomada pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas em 1962 (PV, 30, 27),
- que a unidade de temperatura termodinâmica e a unidade de intervalo de temperatura são uma mesma unidade, que deve ser designada por um único nome e um único símbolo,

decide

1. que a unidade de temperatura termodinâmica é designada pelo nome “kelvin” e o seu símbolo é “K”; **
2. que o mesmo nome e o mesmo símbolo são usados para exprimir um intervalo de temperatura;

* Na sua reunião de 1980, o CIPM aprovou o relatório da 7ª reunião do CCU, o qual solicitou que o uso dos símbolos “°K” e “deg” não fosse mais permitido.

** Ver a Recomendação 2 (CI-2005) do CIPM sobre a composição isotópica da água que entra na definição do kelvin, p. 71.

3. que um intervalo de temperatura também pode ser expresso em graus Celsius;
4. que as decisões mencionadas no parágrafo inicial relativas ao nome da unidade de temperatura termodinâmica, ao seu símbolo e a designação da unidade para exprimir um intervalo ou uma diferença de temperaturas são revogadas, mas os usos que são consequência dessas decisões permanecem aceitos temporariamente.

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

Resolução 4

A 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando que é útil formular mais explicitamente a definição da unidade de temperatura termodinâmica contida na Resolução 3 da 10ª CGPM (1954),

decide expressar esta definição da seguinte forma:

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

* Ver a Recomendação 5 (CIPM, 1989) do CIPM relativa à escala internacional de temperatura de 1990, pág. 63.

* O kelvin foi redefinido na 26ª reunião do CGPM em 2018 (Resolução 1, ver pág.91),

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

Resolução 5

A 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando

- a definição da unidade de intensidade luminosa ratificada pela 9ª CGPM (1948) e contida na “Resolução sobre a mudança das unidades fotométricas” adotada pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas em 1946 (PV, 20, 119) em virtude das atribuições conferidas pela 8ª CGPM (1933),
- que esta definição fixa satisfatoriamente a unidade de intensidade luminosa, mas a sua redação presta-se à crítica editorial,

decide expressar a definição da candela da seguinte forma:

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

* Esta definição foi revogada pela 16ª CGPM em 1979 (Resolução 3, ver pág. 55).

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

Resolução 6

A 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando que é útil adicionar algumas unidades derivadas à lista do parágrafo 4 da Resolução 12 da 11ª CGPM (1960),

A unidade de atividade recebeu um nome especial e um símbolo particular da 15ª CGPM em 1975 (Resolução 8, ver pág. 54).

decide adicionar:

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

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

Resolução 7

A 13ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando que as decisões subsequentes tomadas pela Conferência Geral sobre o Sistema Internacional de Unidades contradizem algumas partes da Resolução 7 da 9ª CGPM (1948),

decide, conseqüentemente, retirar da Resolução 7 da 9ª Conferência:

1. o nome da unidade “micro” e o símbolo “ μ ”, que foi atribuído a esta unidade, mas que se tornou agora num prefixo;
2. o nome da unidade “nova vela”.

CIPM, 1969

■ **Sistema Internacional de Unidades, regras 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), no que respeita ao Sistema Internacional de Unidades, gerou discussões sobre algumas denominações,

declara

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

e **recomenda**

* A 20ª CGPM decidiu revogar a classe de unidades suplementares no SI (Resolução 8, ver pág. 64).

** O CIPM aprovou em 2001 uma proposta do CCU visando a clarificação da definição de “unidades do SI” e “unidades do SI”, ver pág. 66.

3. o uso de unidades do SI e dos respectivos múltiplos e submúltiplos decimais cujos nomes são formados por meio de prefixos do SI.

Nota: O termo "unidades suplementares", que aparece na Resolução 12 da 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (e nesta Recomendação), é dado a unidades do SI para as quais a Conferência Geral não decide se elas são unidades de base ou unidades derivadas.

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 o tempo coordenado de referência estabelecido pelo *Bureau International de l'Heure* com base nas indicações de relógios atômicos operando em várias 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 da seguinte forma (declaração da CCDS, *BIPM Com. Cons. Def. Segundo*, 1980, 9, S 15 e *Metrologia*, 1981, 17, 70):

O TAI é uma escala de tempo coordenado definida num sistema referencial geocêntrico com o segundo do SI, realizado no geóide em rotação, como unidade de escala.

A União Astronômica Internacional especificou esta definição na respectiva Resolução A4 de 1991: "O TAI é uma escala de tempo realizada de forma ideal, se negligenciarmos um desfasamento constante de 32,184 s, é o tempo terrestre (TT), ele mesmo conectado ao tempo coordenado de referência geocêntrica, o tempo coordenado geocêntrico (TCG), por um passo 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 newton por metro quadrado, e "siemens" (símbolo S), para a unidade de condutância elétrica [recíproco do ohm].

■ Tempo Atômico Internacional, papel do CIPM (CR, 77-78 e *Metrologia*, 1972, 8, 35)

Resolução 1

A 14ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando

- que o segundo, unidade de tempo do Sistema Internacional de Unidades, foi desde 1967 definido a partir de uma frequência atômica natural, e não mais em termos de 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 garantiram e ainda estão garantindo com sucesso o estabelecimento de escalas de tempo com base em movimentos astronômicos, especialmente graças aos serviços permanentes do *Bureau International de l'Heure* (BIH),
- que o BIH começou a estabelecer uma escala de tempo atômica de qualidade reconhecida e com utilidade comprovada,
- que os padrões de frequência atômica para a realização do segundo foram considerados e devem continuar a ser considerados pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) auxiliado pelo Comitê Consultivo, e que o intervalo unitário da escala de Tempo Atômico Internacional deve ser o segundo realizado de acordo com sua definição atômica,
- que todas as organizações científicas internacionais competentes e os laboratórios nacionais ativos nesta área expressaram o desejo de que o CIPM e a CGPM forneçam uma definição de Tempo Atômico Internacional e contribuam para o estabelecimento da Escala Internacional de Tempo Atômico,
- que a utilidade do Tempo Atômico Internacional requer estreita coordenação com as escalas de tempo baseadas em movimentos astronômicos,

solicita ao CIPM

1. para dar uma definição de Tempo Atômico Internacional,
2. para tomar as medidas necessárias, em acordo com as organizações internacionais interessadas, para assegurar que as competências científicas e os meios de ação existentes sejam utilizados da melhor forma possível para a realização da escala de Tempo Atômico Internacional e para satisfazer os requisitos de usuários do Tempo Atômico Internacional.

A definição do TAI foi fornecida pelo CCDS em 1970 (agora renomeado CCTF), ver relatório CCDS p. 22.

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

Resolução 3

A 14ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando o conselho da União Internacional de Física Pura e Aplicada, da União Internacional de Química Pura e Aplicada e da Organização Internacional de Normalização sobre a necessidade de se definir uma unidade de quantidade de matéria,

decide

1. O mol é a quantidade de matéria de um sistema que contém tantas unidades elementares quantos os átomos em 0,012 kg de carbono 12; o respectivo símbolo é “mol”.**

* Na sua reunião de 1980, o CIPM aprovou o relatório da 7ª reunião de CCU (1980) especificando que nesta definição é entendido que se refere a átomos de carbono 12 não ligados, em repouso e no estado fundamental.

** O mol foi redefinido pela CGPM na sua 26ª reunião em 2018 (Resolução 1, ver pág. 91).

2. Quando o mol é usado, as entidades elementares devem ser especificadas e podem ser átomos, moléculas, íons, elétrons, outras partículas ou grupos específicos de tais partículas.
3. O mol é uma unidade de base do Sistema Internacional de Unidades.

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 de comprimento de onda relativos à radiação de lasers estabilizados numa linha de absorção molecular na região do 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 dessas radiações,

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

A incerteza relativa deve ser compreendida como sendo três vezes a incerteza padrão estimada sobre os 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 designado de “Tempo Universal Coordenado” (UTC) é amplamente utilizado, que é difundido pela maioria dos transmissores de rádio de sinais de tempo, que a respectiva difusão fornece aos utilizadores não apenas as frequências padrão, mas ainda o Tempo Atômico Internacional e uma aproximação do Tempo Universal (ou, se preferido, do tempo solar médio),

constata-se que o Tempo Universal Coordenado é a base do tempo civil, o uso do qual é legal na maioria dos países,

considera que esse uso é perfeitamente recomendável.

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

Resoluções 8 e 9

A 15ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

devido à urgência, expressa pela Comissão Internacional de Unidades e Medições de Radiação (ICRU), em estender o uso do

* Na sua reunião de 1976, o CIPM aprovou o relatório da 5ª reunião do CCU (1976), especificando que, no seguimento do conselho do ICRU, o gray pode também ser aplicado para expressar a energia específica transmitida, o

Sistema Internacional de Unidades à investigação e às aplicações em radiologia, devido à necessidade de tornar o mais simples possível a utilização das unidades por não especialistas, levando também em consideração a gravidade dos riscos de erros no trabalho terapêutico,

adota a seguinte denominação especial de unidade do SI para a atividade:

becquerel, símbolo Bq, é igual ao recíproco do segundo (Resolução 8),

adota a seguinte denominação especial de unidade do SI para a radiação ionizante:

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

Nota: O gray é a unidade do SI de dose absorvida. No campo da radiação ionizante, o gray pode ainda ser usado com outras grandezas físicas que também são expressas em joules por kilograma; o Comité Consultivo de Unidades está encarregado de estudar esta questão em colaboração com as organizações internacionais competentes.

kerma e o índice de dose absorvida.

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

Resolução 10

A 15ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM)

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

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

* Novos prefixos foram adicionados em 1991 pela 19ª CGPM (Resolução 4, ver pág. 63).

16ª CGPM, 1979

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

Resolução 3

A 16ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando

- que, apesar dos esforços meritórios de alguns laboratórios, ainda existem divergências excessivas entre os resultados da realização da candela usando o corpo negro, padrão primário atual,
- que as técnicas radiométricas estão a desenvolver-se rapidamente, permitindo uma exatidão que já são análogas às da fotometria e que essas técnicas já estão em uso em laboratórios

A formulação da definição da candela foi modificada pela CGPM na sua 26ª CGPM em 2018 (Resolução 1, ver pág. 91).

A visão fotópica é detectada pelos cones na retina do olho, que são sensíveis para um alto nível de luminância ($L > \text{ca. } 10 \text{ cd/m}^2$) e são usados na visão diurna.

nacionais para realizar a candela sem ter que construir um corpo negro,

- que a relação entre grandezas luminosas de fotometria e grandezas radiométricas, nomeadamente, o valor de 683 lúmens por watt para a eficácia luminosa espectral da radiação monocromática, de frequência 540×10^{12} hertz, foi adotado pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) em 1977,
- que este valor foi aceito como sendo suficientemente exato para o sistema de grandezas fotópicas luminosas, o que implica uma mudança de apenas cerca de 3 % para o sistema de grandezas escotópicas luminosas, e que, portanto, garante uma continuidade satisfatória,
- que chegou o momento de dar à candela uma definição, que permitirá uma melhoria tanto na facilidade de realização quanto na precisão dos padrões fotométricos, e que se aplica a grandezas fotométricas fotópicas e escotópicas e a grandezas ainda a serem definidas no campo mesópico,

A visão escotópica é detectada pelos bastonetes da retina, que são sensíveis ao baixo nível de luminância ($L < \text{ca. } 10^{-3} \text{ cd/m}^2$), usado na visão noturna

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

decide

1. A candela é a intensidade luminosa, numa determinada direção, de uma fonte que emite radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e que tem uma intensidade radiante nessa direção de $1/683$ watt por esferorradiano.
2. A definição da candela (na época denominada “nova vela”) adotada pelo CIPM em 1946 de acordo com as atribuições conferidas pela 8ª CGPM em 1933, ratificada pela 9ª CGPM em 1948, e então alterada pela 13ª CGPM em 1967, é revogada.

■ Nome especial para a unidade do 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 desenvolvido para introduzir unidades do SI no domínio das radiações ionizantes,
- o risco para os seres humanos de uma dose de radiação subestimada, um risco que poderia resultar numa 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 de todas as maneiras possíveis, no entanto esta regra pode ser transgredida quando se trata de uma questão de salvaguardar a saúde humana,

adota o nome especial **sievert**, símbolo Sv, para a unidade do SI de equivalente de dose no domínio da radioproteção⁴⁶. O sievert é igual ao joule por kilograma.

* O CIPM, em 1984, decidiu acompanhar esta Resolução com uma explicação (Recomendação 1, ver pág. 59).

⁴⁶ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “proteção radiológica”, enquanto que no Brasil se usa “radioproteção”.

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

Resolução 6

A 16ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

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

considerando que o símbolo l para a unidade litro foi adotado pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) em 1879 e confirmado na mesma Resolução de 1948,

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

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

decide, como exceção, adotar os dois símbolos l e L como símbolos a serem utilizados para a unidade litro,

considerando além disso que no futuro apenas um destes dois símbolos deve ser mantido,

convida o CIPM a acompanhar o desenvolvimento da utilização destes dois símbolos e a dar à 18ª CGPM o seu parecer quanto à possibilidade de suprimir um deles.

O CIPM, em 1990, considerou que ainda era muito 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 (CIPM),

tendo em consideração a Resolução 3 adotada pelo ISO/TC 12 em 1978 e a Recomendação U 1 (1980) adotada pelo Comitê Consultivo de Unidades na sua 7ª reunião,

considerando

- que as unidades radiano e esferorradiano são geralmente introduzidas em expressões para unidades quando há necessidade de esclarecimento, especialmente em fotometria, onde o esferorradiano desempenha um papel importante na distinção entre unidades correspondentes a diferentes grandezas,
- que nas equações usadas geralmente se expressa o ângulo plano como a razão de dois comprimentos e o ângulo sólido como a razão entre uma área e o quadrado de um comprimento e, conseqüentemente, que estas grandezas são tratadas como grandezas adimensionais,

* A classe de unidades suplementares do SI foi revogada por decisão da 20ª CGPM em 1995 (Resolução 8, ver pág. 64).

- que o estudo dos formalismos em uso no campo científico, mostra que nenhum existe que seja ao mesmo tempo coerente e conveniente, e em que as grandezas ângulo plano e ângulo sólido sejam consideradas como grandezas de base,

considerando também

- que a interpretação dada pelo CIPM em 1969 para a classe de unidades suplementares introduzida na Resolução 12 da 11ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) em 1960 permite a liberdade de tratar o radiano e o esferorradiano como unidades de base do SI,
- que tal possibilidade compromete a coerência interna do SI com base em apenas sete unidades de base,

decide interpretar a classe de unidades suplementares no Sistema Internacional como uma classe de unidades derivadas adimensionais para as quais o CGPM permite a liberdade de usá-las ou não em expressões para unidades derivadas do SI.

17ª CGPM, 1983

■ **Definição do metro** (CR, 97 e *Metrologia*, 1984, 20, 25)

Resolução 1

A 17ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando

- que a presente definição não permite uma realização suficientemente precisa do metro para todos os requisitos,
- que o progresso feito na estabilização dos lasers permite a obtenção de radiações que são mais reprodutíveis e mais fáceis de utilizar do que a radiação padrão emitida por uma lâmpada de criptônio 86,
- que o progresso feito na medição da frequência e comprimento de onda destas radiações resultou em determinações concordantes da velocidade da luz, cuja exatidão é limitada principalmente pela realização da definição atual do metro,
- que os comprimentos de onda determinados a partir de medições de frequência e a partir de um determinado valor para a velocidade da luz têm reprodutibilidade superior àquela que pode ser obtida por comparação com o comprimento de onda da radiação padrão do criptônio 86,
- que há uma vantagem, principalmente 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 considerada em várias formas, todas elas levam em conta o efeito de dar à velocidade da luz um valor exato, igual ao valor recomendado, e que isto não introduz nenhuma descontinuidade apreciável na unidade

A redação da definição do metro foi modificada pela 26ª CGPM em 2018 (Resolução 1, ver pág. 91).

A incerteza relativa dada aqui, corresponde a três desvios padrão nos dados considerados.

de comprimento, levando em consideração a incerteza relativa de $\pm 4 \times 10^{-9}$ das melhores realizações do metro na definição atual,

- que estas várias formas, que fazem referência seja ao caminho percorrido pela luz num intervalo de tempo específico ou ao comprimento de onda de uma frequência de radiação medida ou especificada, têm sido objeto de consultas e discussões profundas, e têm sido reconhecidas como equivalentes e que um consenso emergiu a favor do primeiro formato,
- que o Comitê Consultivo para a Definição do Metro (CCDM) está agora em posição de dar instruções para a realização prática de tal definição, instruções estas que podem incluir o uso da radiação laranja do cripton 86, usado como padrão até agora, e que pode, no devido tempo, ser ampliado ou revisto,

decide

1. O metro é o comprimento do percurso percorrido pela luz vácuo durante um intervalo de tempo de $1/299\,792\,458$ do segundo,
2. A definição do metro em vigor desde 1960, com base na transição entre os níveis $2p_{10}$ e $5d_5$ do átomo de criptônio 86 é revogada.

■ **Na 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 elaborar as 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 elaboração de instruções para a sua utilização,
- a seguir os estudos realizados para melhorar estes padrões.

Ver a Recomendação 1 (CIPM 2002) do CIPM na revisão da realização prática da definição do metro, pág. 66.

CIPM, 1984

■ **Relativamente ao sievert** (PV, 52, 31 e *Metrologia*, 1985, 21, 90)*

Recomendação 1

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

considerando a confusão que persiste sobre o tema da Resolução 5, aprovada pelo 16ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (1979),

decide introduzir a seguinte explicação na brochura “*Le Système International d'Unités (SI)*”:

* O CIPM, em 2002, decidiu alterar a explicação da grandeza equivalente de dose na brochura sobre o SI (Recomendação 2, ver pág. 66).

A grandeza equivalente de dose H é o produto da dose absorvida D das radiações ionizantes e de dois fatores adimensionais Q (fator de qualidade) e N (produto de quaisquer outros fatores multiplicadores) estipulada 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 quilograma, pode ser diferente de D , em joules por quilograma, dependendo dos valores de Q e N . A fim de evitar qualquer risco de confusão entre a dose absorvida D e o equivalente de dose H , convém que sejam utilizados os nomes especiais para as respectivas unidades, ou seja, é recomendável que o nome *gray* seja utilizado em vez de joules por quilograma, para a unidade de dose absorvida D , e o nome *sievert* em vez de joules por quilograma, para a unidade de equivalente de dose H .

18ª CGPM, 1987

■ **Próximos ajustes para as 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 de longo prazo das representações nacionais das unidades elétricas são de grande importância para a ciência, o comércio e a indústria, quer do ponto de vista técnico quer do ponto de vista econômico,
- que muitos laboratórios nacionais utilizam o efeito Josephson e estão a começar a utilizar o efeito de Hall quântico para manter as representações do volt e do ohm, respectivamente, dado que estes oferecem as melhores garantias de estabilidade a longo prazo,
- que por causa da importância da coerência entre as unidades de medida das várias grandezas físicas, os valores adotados para estas representações devem ser tão próximos quanto possível em concordância com o SI,
- que os resultados da experiência recente e atual permitirão estabelecer um valor aceitável, suficientemente compatível com o SI, para o coeficiente que relaciona cada um destes efeitos para a unidade elétrica correspondente,

convida os laboratórios cujo trabalho pode contribuir para estabelecer o quociente tensão/frequência, no caso do efeito Josephson, e o quociente tensão/corrente para o efeito Hall quântico, para persistir vigorosamente nestes esforços e comunicar rapidamente os resultados ao Comitê Internacional de Pesos e Medidas, e

instrui o Comitê Internacional de Pesos e Medida a recomendar, assim que considerar possível, um valor para cada um destes quocientes juntamente com uma data para eles serem colocados em prática, simultaneamente em todos os países; estes valores seriam anunciados pelo menos um ano antes, e seriam adotados em 1 de janeiro de 1990.

CIPM, 1988

■ **Representação do volt através do efeito Josephson** (PV, 56, 44 e *Metrologia*, 1989, 26, 69)*

* A 26ª CGPM em 2018 (Resolução 1, ver pág. 91) revogou a adoção dum valor convencional para K_J .

Recomendação 1

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

atuando de acordo com as instruções dadas na Resolução 6 da 18ª Conferência Geral de Pesos e Medidas sobre o próximo ajuste das representações do volt e do ohm,

considerando

- que um estudo detalhado dos resultados das determinações mais recentes leva a um valor de 483 597,9 GHz/V para a constante de Josephson, K_J , ou seja, para o quociente de frequência dividida pela diferença de potencial correspondente ao degrau $n = 1$ no efeito Josephson
- que o efeito Josephson, juntamente com este valor de K_J , pode ser utilizado para estabelecer um padrão de referência da força eletromotriz, tendo uma incerteza padrão em relação ao volt estimada em 4 partes em 10^7 , e uma reprodutibilidade que é significativamente melhor,

recomenda

que 483 597,9 GHz/V exatamente seja adotado como um valor convencional, representado por K_{J-90} para a constante de Josephson, K_J ,

- que este novo valor seja usado a partir de 1 de janeiro de 1990, e não antes, para substituir os valores atualmente em uso,
- que este novo valor seja usado a partir desta mesma data por todos os laboratórios que baseiam as suas medições de força eletromotriz no efeito Josephson, e
- que a partir desta mesma data todos os outros laboratórios ajustem o valor dos seus padrões laboratoriais de referência para estarem de acordo com o novo valor adotado,

é da opinião que nenhuma mudança neste valor recomendado da constante de Josephson será necessária num futuro previsível, e

chama a atenção dos laboratórios para o fato de que o novo valor é maior em 3,9 GHz/V, ou cerca de 8 partes em 10^6 , do que o valor dado em 1972 pelo Comitê Consultivo de Eletricidade na respectiva declaração E-72.

■ **Representação do ohm através do efeito Hall quântico** (PV, 56, 45 e *Metrologia*, 1989, 26, 70)*

Recomendação 2

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

agindo de acordo com as instruções dadas na Resolução 6 da 18ª Conferência Geral de Pesos e Medidas relativas ao próximo ajuste das representações do volt e do ohm,

considerando

- que a maioria dos padrões laboratoriais de referência de resistência existentes variam significativamente com o tempo,
- que um padrão laboratorial de referência de resistência baseado no efeito Hall quântico seria estável e reproduzível,
- que um estudo detalhado dos resultados das determinações mais recentes leva a um valor de $25\,812,807\,\Omega$ para a constante de von Klitzing, R_K , ou seja, para o quociente entre a diferença do potencial de Hall e a corrente correspondente ao patamar $i = 1$ no efeito Hall quântico,
- que o efeito Hall quântico, juntamente com este valor de R_K , podem ser usados para estabelecer um padrão de referência de resistência, tendo uma incerteza de um desvio-padrão com respeito ao ohm estimada em 2 partes em 10^7 , e uma reprodutibilidade que é significativamente melhor,

recomenda

- que $25\,812,807\,\Omega$, exatamente, seja adotado como um valor convencional, indicado por R_{K-90} , para o constante de von Klitzing, R_K ,
- que este valor seja usado a partir de 1 de janeiro de 1990, e não antes, por todos os laboratórios que baseiam as suas medições de resistência no efeito Hall quântico,
- que a partir desta mesma data todos os outros laboratórios ajustem o valor dos respectivos padrões laboratoriais de referência para concordar com R_{K-90} ,
- que no uso do efeito Hall quântico para estabelecer um padrão de referência de resistência, os laboratórios sigam a edição mais recente das diretrizes técnicas para medições confiáveis da resistência Hall quantizada⁴⁷, elaborada pelo Comitê Consultivo de Eletricidade e publicada pelo *Bureau* Internacional de Pesos e Medidas, e

é da opinião que nenhuma mudança neste valor recomendado da constante de von Klitzing será necessária num futuro previsível.

Na sua 89ª reunião em 2000, o CIPM aprovou a declaração da 22ª reunião do CCEM sobre a utilização do valor da constante de von Klitzing.

*A 26ª CGPM em 2018 (Resolução 1, ver pág. 91) revogou a adoção dum valor convencional para R_K .

⁴⁷ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “resistência quantificada de Hall”, enquanto que no Brasil se usa “resistência Hall quantizada”.

CIPM, 1989

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

O kelvin foi redefinido pela 26ª CGPM em 2018 (Resolução 1, ver pág. 91).

Recomendação 5

O Comitê Internacional de Pesos e Medida (CIPM) agindo de acordo com a Resolução 7 da 18ª Conferência Geral de Pesos e Medida (1987) adotou a Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90) para substituir a Escala Prática Internacional de Temperatura de 1968 (IPTS-68).

O CIPM observa que, em comparação com a IPTS-68, a ITS-90

- se estende a temperaturas mais baixas, até 0,65 K e, portanto, também substitui a EPT-76,
- está substancialmente mais concordante com as temperaturas termodinâmicas correspondentes,
- tem continuidade, precisão e reprodutibilidade muito melhor em toda a sua faixa e
- tem sub-intervalos e definições alternativas em certos intervalos que facilitam muito o seu uso.

O CIPM **observou** ainda que o texto da ITS-90 será acompanhado por dois outros documentos, a Informação Suplementar para a ITS-90 e as Técnicas para Aproximação da ITS-90. Estes documentos serão publicados pelo BIPM e periodicamente atualizados.

O CIPM **recomenda**

- que em 1 de janeiro de 1990 a ITS-90 entre em vigor e
- que a partir desta mesma data a IPTS-68 e a EPT-76 sejam revogadas.

19ª CGPM, 1991

■ **Prefixos SI zetta, zepto, yotta e yocto** (CR, 185 e *Metrologia*, 1992, 29, 3)

Resolução 4

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

decide adicionar à lista dos prefixos do SI a serem usados como múltiplos e submúltiplos, adotados pela 11ª CGPM, Resolução 12, parágrafo 3, pela 12ª CGPM, Resolução 8, e pela 15ª CGPM, Resolução 10, os seguintes prefixos:

Fator de multiplicação	Prefixo	Símbolo
10^{21}	zetta	Z
10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yota	Y

Os nomes zepto e zetta são derivados do septo sugerindo o número sete (a sétima potência de 10^3) e a letra “z” é substituída pela letra “s” para evitar o uso duplicado da letra “s” como símbolo. Os nomes yocto e yotta derivam do octo, sugerindo o número oito (a oitava potência de 10^3); a letra “y” é adicionada para evitar o uso da letra “o” como símbolo, dado que pode ser confundida com o número zero.

10^{-24}

yocto

y

20ª CGPM, 1995

■ **Eliminação da classe de unidades suplementares no SI** (CR, 223 e *Metrologia*, 1996, **33**, 83)

Resolução 8

A 20ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM),

considerando

- que a 11ª Conferência Geral em 1960 na sua Resolução 12, que estabeleceu o Sistema Internacional de Unidades, SI, distinguiu três classes de unidades: as unidades de base, as unidades derivadas e as unidades suplementares, a última destas compreendendo o radiano e o esferorradiano,
- que a situação atual das unidades suplementares em relação às unidades de base e às unidades derivadas deu origem a debate,
- que o Comitê Internacional de Pesos e Medidas em 1980, tendo observado que a situação ambígua das unidades suplementares compromete a coerência interna do SI, tem na sua Recomendação 1 (CI-1980) interpretado as unidades suplementares, no SI, como unidades derivadas adimensionais

aprovando a interpretação dada pelo Comitê Internacional em 1980,

decide

- interpretar as unidades suplementares no SI, nomeadamente, o radiano e o esferorradiano, como unidades derivadas adimensionais, cujos nomes e símbolos podem, mas não necessariamente, ser usados em expressões de outras unidades derivadas do SI, se for conveniente,
- e, consequentemente, eliminar a classe de unidades suplementares como uma classe individualizada no SI.

21ª CGPM, 1999

■ **A definição do kilograma** (CR, 331 e *Metrologia*, 2000, **37**, 94)

Resolução 7

A 21ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando

- a necessidade de assegurar a estabilidade a longo prazo do Sistema Internacional de Unidades (SI),
- a incerteza intrínseca da estabilidade a longo prazo do artefato que define a unidade de massa, uma das unidades de base do SI,

- a consequente incerteza na estabilidade a longo prazo das outras três unidades de base do SI que dependem do quilograma, nomeadamente, o ampere, o mol e a candela,
- o progresso já efetuado numa série de experiências diferentes projetadas para interligar a unidade de massa a constantes fundamentais ou atômicas,
- o desejo de ter mais do que um método para realizar a tal interligação

recomenda que os laboratórios nacionais continuem os respectivos esforços para aprimorar as realizações experimentais que interligam a unidade de massa às constantes fundamentais ou atômicas, com vista a uma futura redefinição do quilograma.

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

Resolução 12

A 21ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

considerando

- a importância para a saúde e segurança humanas de facilitar o uso de unidades do SI nas áreas da medicina e bioquímica,
- que uma unidade não SI designada "unidade", símbolo *U*, igual a $1 \mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}$, que não é coerente com o Sistema Internacional de Unidades (SI), tem sido amplamente utilizada na medicina e na bioquímica desde 1964 para expressar atividade catalítica,
- que a ausência de um nome especial para a unidade derivada coerente do SI mol por segundo levou a resultados de medições clínicas dadas em várias unidades locais,
- que o uso de unidades do SI em medicina e química clínica é fortemente recomendado pelas organizações internacionais nestes domínios,
- que a Federação Internacional de Química Clínica e Medicina Laboratorial solicitou ao Comitê Consultivo para Unidades que recomendasse o nome especial katal, símbolo kat, para a unidade do SI mol por segundo
- que embora a proliferação de nomes especiais represente um perigo para o SI, são admitidas exceções para as questões relacionadas com a saúde e segurança humanas (15ª Conferência Geral, 1975, Resoluções 8 e 9, 16ª Conferência Geral, 1979, Resolução 5),

notando que o nome katal, de símbolo kat, tem sido utilizado para a unidade do SI mol por segundo por mais de trinta anos para expressar a atividade catalítica,

decide adotar o nome especial katal, símbolo kat, para a unidade do SI mol por segundo para expressar atividade catalítica, especialmente nos domínios da medicina e da bioquímica,

e **recomenda** que, quando o katal é utilizado, o mensurando⁴⁸ seja especificado por referência ao procedimento de medição; o procedimento de medição deve identificar a reação do indicador.

CIPM, 2001

■ “Unidades SI” e “Unidades do SI” (PV, 69, 120)

O CIPM aprovou em 2001 a seguinte proposta do CCU sobre "unidades SI" e "unidades do SI":

“Sugerimos que os termos "unidades SI" e "unidades do SI" sejam considerados como nomes que incluem as unidades de base e as unidades derivadas coerentes, bem como a todas as unidades obtidas pela respectiva combinação com os prefixos múltiplos e submúltiplos recomendados.

Sugerimos que o termo "unidades coerentes do SI" seja usado quando for desejado restringir o significado apenas às unidades de base e às unidades derivadas coerentes.”

CIPM, 2002

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

Recomendação 1

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas, **lembrando**

- que em 1983 a 17ª Conferência Geral (CGPM) adotou uma nova definição do metro;
- que no mesmo ano a CGPM convidou o Comitê Internacional (CIPM)
 - para estabelecer as instruções para a realização prática do metro,
 - para escolher os valores de radiação que podem ser recomendadas como padrões de comprimento de onda para a medição interferométrica do comprimento e estabelecer as instruções para a respectiva utilização,
 - prosseguir com os estudos realizados para melhorar esses padrões e, no devido tempo, ampliar ou rever essas instruções;
- que em resposta a este convite o CIPM adotou a Recomendação 1 (CI-1983) (*mise en pratique* da definição do metro) com o objetivo de
 - que o metro seja realizado por um dos seguintes métodos:
 - a) através do valor do comprimento l do percurso percorrido no vácuo por uma onda eletromagnética plana durante um

⁴⁸ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “a mensuranda”, enquanto que no Brasil se usa “o mensurando”.

intervalo de tempo t ; este comprimento é obtido a partir do valor medido do intervalo de tempo t , usando a relação $l = c_0 \Delta t$ e o valor da velocidade da luz no vácuo $c_0 = 299\,792\,458\text{ m/s}$,

- b) através do valor do comprimento de onda no vácuo λ de uma onda eletromagnética plana de frequência f ; este comprimento de onda é obtido a partir do valor medido da frequência f usando a relação $\lambda = c_0 / f$ e o valor da velocidade da luz no vácuo $c_0 = 299\,792\,458\text{ m/s}$,
- c) através do valor de uma das radiações da lista abaixo, cujos comprimento de onda no vácuo ou frequência declarados possam ser usados com a incerteza indicada, desde que sejam observadas as especificações estabelecidas e as boas práticas reconhecidas;
- que em todos os casos sejam aplicadas as correções necessárias para considerar as condições reais, tais como difração, gravitação ou imperfeições do vácuo;
- que, no contexto da relatividade geral, o metro é considerado uma unidade de comprimento adequado. A respectiva definição, portanto, aplica-se apenas a um domínio espacial suficientemente pequeno, no 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 de cerca de 1 parte em 10^{16} por metro). Neste caso, os únicos efeitos que devem ser considerados são os relacionados com a relatividade especial. Os métodos locais para a realização do metro, recomendados em (b) e (c), fornecem a realização adequada para o metro, mas não necessariamente aquele recomendado em (a). Convém que o método recomendado em (a) seja, portanto, restrito a comprimentos l suficientemente curtos para que os efeitos previstos pela relatividade geral sejam negligenciáveis em comparação com as incertezas de realização. Como conselho na interpretação de medições em que isso não seja o caso, observar o relatório do Grupo de Trabalho na Aplicação da Relatividade Geral à Metrologia do Comitê Consultivo de Tempo e Frequência (CCTF) (Aplicação da relatividade geral à metrologia, *Metrologia*, 1997, **34**, 261-290);
- que o CIPM já havia recomendado uma lista de valores de radiações para esse fim;

recordando também que em 1992 e em 1997 o CIPM reviu a realização prática da definição do metro;

considerando

- que a ciência e a tecnologia exigem continuamente uma exatidão melhorada na realização do metro;
- que desde 1997 os trabalhos desenvolvidos em laboratórios nacionais, no BIPM e noutros locais têm identificado novos

valores de radiações e novos métodos para a sua implementação que conduzem a menores incertezas;

- que existe um movimento crescente para a utilização de frequências ópticas nas atividades relacionadas com o tempo, e que se continua a ampliar o âmbito de aplicação das radiações recomendadas da *mise en pratique* para abranger, não apenas a metrologia dimensional e a realização do metro, mas também a espectroscopia de alta resolução, a física atômica e molecular, as constantes fundamentais e as telecomunicações;
- que estão agora disponíveis na lista das radiações recomendadas uma série de novos valores de frequências com incertezas reduzidas para os padrões das radiações do átomo frio de alta estabilidade e para os padrões de íons, que as frequências de radiações de vários novos átomos frios e espécies de íons também foram medidos recentemente e que novos valores melhorados e com incertezas significativamente mais reduzidas, de uma série de padrões de frequências ópticas baseados em células de gás foram determinadas, incluindo na região dos comprimentos de onda de interesse para telecomunicações ópticas
- que as novas técnicas de pentes de pulsos⁴⁹ de femtosegundos apresentam-se como de significativo interesse para relacionar a frequência dos padrões de frequência óptica de alta estabilidade às do padrão de frequência utilizado na realização do segundo SI, que essas técnicas representam uma técnica de medição conveniente para fornecer rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades (SI) e que a tecnologia de pentes de pulsos também pode fornecer fontes de frequência, bem como uma técnica de medição;

reconhece as técnicas de pente de pulsos como oportunas e adequadas e recomenda investigações adicionais para explorar as suas possibilidades;

congratula-se com as validações em curso relativas às técnicas de pentes de pulsos em comparação com outras técnicas de cadeias de frequências;

incentiva os Institutos Nacionais de Metrologia e outros laboratórios a desenvolverem as técnicas de pentes de pulsos com o mais alto nível de exatidão possível e também a procurarem a simplicidade, de modo a encorajar uma aplicação generalizada;

recomenda

que a lista de radiações recomendadas dada pelo CIPM em 1997 (Recomendação 1 (CI-1997)) seja substituída pela lista de radiações abaixo *, incluindo

valores atualizados da frequência dos átomos frios de Ca, átomos de H e íons aprisionados Sr^+ ,

* A lista de radiações recomendadas, Recomendação 1 (CI-2002), é dada em PV, **70**, 197-204 e *Metrologia*, 2003, **40**, 104-115.

⁴⁹ Nota dos tradutores: em Portugal usa-se “pentos de impulsos”, enquanto que no Brasil se usa “pentos de pulsos”.

- valores de frequências de novas espécies de íons frios, incluindo o íon aprisionado Hg^+ , o íon aprisionado In^+ e o íon aprisionado Yb^+ ,
- valores atualizados da frequência para lasers estabilizados em Rb, de lasers de Nd:YAG e lasers de He-Ne estabilizados em I_2 , lasers de He-Ne estabilizado em CH_4 e lasers de CO_2 estabilizados em OsO_4 a $10\text{ }\mu\text{m}$,
- valores de frequências para os padrões relevantes para as bandas de comunicação óptica, incluindo os lasers estabilizados em Rb e C_2H_2 .

...

■ Equivalente de dose (PV, 70, 205)

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

Recomendação 2

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

considerando que

- a definição atual da unidade do SI de equivalente de dose (sievert) inclui um fator " N " (produto de quaisquer outros fatores multiplicativos) estipulado pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), e
- a ICRP e a Comissão Internacional de Unidades e Medições de Radiação (ICRU) decidiram excluir este fator N , por deixar de ser considerado como necessário, e
- a definição atual de equivalente de dose no SI, H , que inclui o fator N , causa alguma confusão,

decide modificar a explicação dada na brochura "*Le Système International d'Unités (SI)*" da seguinte forma:

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

$$H = Q \cdot D.$$

Assim, para uma dada radiação, o valor numérico de H em joules por quilograma pode ser diferente do valor de D em joules por quilograma, uma vez que é função do valor de Q .

O Comitê **decide**, portanto, manter a última frase da explicação da seguinte forma:

A fim de evitar qualquer risco de confusão entre a dose absorvida D e equivalente de dose H , convém que sejam usados nomes especiais para as unidades correspondentes, ou seja, convém que o nome gray seja usado em vez de joules por quilograma para a unidade de dose absorvida D e o nome sievert em vez de joules por quilograma para a unidade de equivalente de dose H .

CIPM, 2003

■ **Revisão da lista de radiações recomendadas na *Mise en Pratique*** (PV, 71, 146 e *Metrologia*, 2004, 41, 99-100)

Recomendação 1

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM),

considerando que

- ficaram recentemente disponíveis valores melhorados de frequência para radiações de alguns padrões de íons frios de alta estabilidade já documentados na lista de radiações recomendadas, tornadas disponíveis recentemente;
- foram determinados valores melhorados de frequência para o padrão de frequência óptica baseada em células de gás no infravermelho para a região das telecomunicações ópticas, já documentado na lista de radiações recomendadas
- foram realizadas recentemente, pela primeira vez, medições de frequências baseadas em técnicas de pentes de pulsos de femtosegundos para certos padrões de células de gás de iodo que aparecem na lista de fontes complementares recomendadas, levando a uma redução significativa da incerteza;

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

- valores atualizados das frequências de transição quadripolar do íon único aprisionado de $^{88}\text{Sr}^+$ e da transição octopolar do íon único aprisionado $^{171}\text{Yb}^+$;
- um valor de frequência atualizado para o padrão estabilizado em C_2H_2 a 1,54 μm ;
- valores atualizados das frequências para o padrão estabilizado em I_2 a 543 nm e 515 nm.

22ª CGPM, 2003

■ **Símbolo para o separador decimal** (CR, 381 e *Metrologia*, 2004, 41, 104)

Resolução 10

A 22ª Conferência Geral,

considerando que

- um dos principais objetivos do Sistema Internacional de Unidades (SI) é permitir que o valor das grandezas seja expresso de uma forma que seja facilmente compreendida em todo o mundo,
- o valor de uma grandeza é normalmente expresso pelo produto de um número por uma unidade,

- muitas vezes o número usado para expressar o valor de uma grandeza contém vários dígitos, com uma parte inteira e uma parte decimal,
- a Resolução 7 da 9ª Conferência Geral (1948) decidiu que “Em números, a vírgula (uso francês) ou o ponto (uso britânico) são usados apenas para separar a parte inteira da parte decimal,
- de acordo com a decisão do Comitê Internacional de Pesos e Medidas na respectiva 86ª reunião (1997), o *Bureau International de Pesos e Medidas* agora usa o ponto como separador decimal em todas as versões em inglês das respectivas publicações, inclusive no texto em inglês da brochura sobre o SI (a referência definitiva internacional do SI), continuando a usar a vírgula como separador decimal em todas as respectivas publicações em francês,
- no entanto, algumas organizações internacionais usam a vírgula sobre a linha como separador decimal nos respectivos documentos em inglês,
- além disso, algumas organizações internacionais, incluindo algumas organizações internacionais de normalização, especificam que o separador decimal deve ser a vírgula sobre a linha, em todos os idiomas,
- a recomendação de usar a vírgula sobre a linha como separador decimal está, em muitos idiomas, em conflito com o uso comum, que é usar o ponto sobre a linha naqueles idiomas,
- em alguns idiomas que são nativos em mais do que um país, o ponto sobre a linha ou a vírgula sobre a linha é usado como separador decimal dependendo do país, enquanto que em alguns países com mais do que um idioma nativo, ou o ponto sobre a linha ou vírgula sobre a linha é usada dependendo do idioma,

declara que o símbolo para o separador decimal deve 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 dígitos; nunca são utilizados nem pontos nem vírgulas para separar esses grupos” conforme declarado na Resolução 7 da 9ª CGPM de 1948.

CIPM, 2005

■ **Clarificação da definição do kelvin, unidade de temperatura termodinâmica** (PV, 73, 235 e *Metrologia*, 2006, 43, 177-178)*

Recomendação 2

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM),

considerando

* O kelvin foi redefinido pela 26ª CGPM em 2018 (Resolução 1, ver pág. 91).

- 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 depende da quantidade relativa de isótopos de hidrogênio e oxigênio presentes na amostra de água usada,
- que este efeito é agora uma das principais fontes da variabilidade observada entre as diferentes realizações do ponto triplo da água,

decide

- que a definição do kelvin se refere à água com uma composição isotópica especificada;
- que esta composição seja:
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 ,

que é a composição do material de referência da Agência Internacional de Energia Atômica (*Vienna Standard Mean Ocean Water*) (VSMOW), conforme recomendado pela IUPAC em “Atomic Weights of the Elements: Review 2000”.

- que esta composição seja declarada em nota anexada à definição do kelvin na brochura sobre o SI da seguinte forma:
“Esta definição refere-se à água com a composição isotópica definida exatamente pela seguinte quantidade de proporções: 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 na *Mise en pratique*** (PV, 73, 236 e *Metrologia*, 2006, 43, 178)

Recomendação 3

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM),

considerando que:

- ficaram recentemente disponíveis valores melhorados de frequência para radiações de alguns padrões de íons frios e átomos frios de alta estabilidade já documentados na lista de radiações recomendadas;
- foram determinados valores melhorados de frequência para o padrão de frequência óptica baseada em células de gás infravermelho para a região das telecomunicações ópticas, já documentado na lista de radiações recomendadas;
- foram determinados valores melhorados de frequência para certos padrões de células de gás de iodo que aparecem na lista de fontes complementares recomendadas;

- foram recentemente determinadas, pela primeira vez, frequências de novos átomos frios, de átomos na região próximo do infravermelho e de moléculas na região das telecomunicações ópticas, através de técnicas de medição de pentes de pulsos femtosegundos;

decide que a lista de *radiações recomendadas* seja revista para incluir o seguinte:

- valores atualizados das frequências de transição quadripolar do íon único aprisionado de $^{88}\text{Sr}^+$, da transição quadripolar do íon único aprisionado $^{199}\text{Hg}^+$ e da transição quadripolar do íon único aprisionado $^{171}\text{Yb}^+$;
- um valor de frequência atualizado para a transição do átomo de Ca;
- um valor de frequência atualizado para o padrão estabilizado em C_2H_2 a 1,54 μm ;
- um valor de frequência atualizado para o padrão estabilizado em I2 a 515 nm;
- a adição da transição do átomo de ^{87}Sr a 698 nm;
- a adição das transições de dois fótons do átomo de ^{87}Rb a 760 nm;
- a adição da banda de $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ ($\nu_1 + \nu_3$) e das bandas de $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ ($\nu_1 + \nu_3$) e ($\nu_1 + \nu_3 + \nu_4 + \nu_5$) a 1,54 μm .

CIPM, 2006

■ **Sobre as representações secundárias do segundo** (PV, 74, 249 e *Metrologia*, 2007, 44, 97)

Recomendação 1

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM),

Considerando que

- uma lista comum de "Valores recomendados das frequências padrão para aplicações incluindo a realização prática do metro e as representações secundárias do segundo" deverá ser estabelecida,
- o Grupo de Trabalho Conjunto (JWG) do CCL/CCTF *Joint Working Group* sobre a "Implementação prática da definição do metro e as representações secundárias do segundo", durante a reunião de setembro de 2005 no *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), discutiu as potenciais frequências de radiação candidatas serem incluídas na lista de representações secundárias do segundo,
- o Grupo de Trabalho Conjunto CCL/CCTF reviu e atualizou os valores das frequências das transições para o íon de mercúrio (Hg), o íon de estrôncio (Sr), o íon de itérbio (Yb) e o átomo neutro de Sr na sessão de setembro de 2006,

- o CCTF na Recomendação CCTF 1 (2004) já havia recomendado a frequência da transição quântica hiperfina não perturbada do estado fundamental do átomo de ^{87}Rb como uma representação secundária do segundo;

recomenda que as frequências das transições seguintes sejam usadas como representações secundárias do segundo e incluídas na nova lista de "Valores recomendados de frequências padrão para a realização prática do metro e para as representações secundárias do segundo"

- a transição quântica hiperfina do estado fundamental não perturbado do átomo de ^{87}Rb , com uma frequência $f^{87}\text{Rb} = 6\,834\,682\,610,904\,324\text{ Hz}$, e uma incerteza padrão relativa estimada de 3×10^{-15} ,
- a transição ótica não perturbada $5s\ ^2S_{1/2} - 4d\ ^2D_{5/2}$ do íon $^{88}\text{Sr}^+$, com uma frequência $f^{88}\text{Sr}^+ = 444\,779\,044\,095\,484\text{ Hz}$, e uma incerteza padrão relativa estimada de 7×10^{-15} ,
- a transição ótica não perturbada $5d^{10}\,6s\ ^2S_{1/2}\ (F=0) - 5d^9\,6s^2\ ^2D_{5/2}\ (F=2)$ do íon $^{199}\text{Hg}^+$, com uma frequência $f^{199}\text{Hg}^+ = 1\,064\,721\,609\,899\,145\text{ Hz}$, e uma incerteza padrão relativa estimada de 3×10^{-15} ,
- a transição ótica não perturbada $6s\ ^2S_{1/2}\ (F=0) - 5d\ ^2D_{3/2}\ (F=2)$ do íon $^{171}\text{Yb}^+$, com uma frequência $f^{171}\text{Yb}^+ = 688\,358\,979\,309\,308\text{ Hz}$, e uma incerteza padrão relativa estimada de 9×10^{-15} ,
- a transição ótica não perturbada $5s^2\ ^1S_0 - 5s\,5p\ ^3P_0$ do átomo neutro de ^{87}Sr , com frequência $f^{87}\text{Sr} = 429\,228\,004\,229\,877\text{ Hz}$, e incerteza padrão relativa estimada de $1,5 \times 10^{-14}$.

CIPM, 2007

■ **Revisão da lista das radiações recomendadas para a *mise en pratique* da definição do metro** (PV, 75, 185)

Recomendação 1

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM),

Considerando que

- determinaram-se valores de frequência melhorados de moléculas na região das telecomunicações ópticas, valores já publicados na lista das frequências padrão, através de medições de frequência baseadas em pentes de frequência com pulsos de femtosegundo;
- determinaram-se, pela primeira vez, as frequências de moléculas na região de telecomunicações ópticas, através de medições de frequência baseadas em pentes de frequência com pulsos femtosegundo;
- determinaram-se, pela primeira vez, as frequências de absorções em células em iodo gasoso, próximas do padrão de frequência

óptica de 532 nm, através de medições de frequência baseadas em pentes de frequência com pulsos femtosegundos;

propõe que a lista das frequências padrão seja revista de modo a incluir:

- uma lista atualizada dos valores das frequências para a banda $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ ($\nu_1 + \nu_3$) a 1,54 μm ;
- a adição dos valores das frequências para a banda $^{12}\text{C}_2\text{HD}$ ($2\nu_1$) a 1,54 μm ;
- a adição dos valores das frequências para as componentes hiperfinas das transições de iodo a 532 nm P(142) 37-0, R(121) 35-0 e R(85) 33-0.

23ª CGPM, 2007

■ **Sobre a revisão da implementação prática da definição do metro e sobre o desenvolvimento de novos padrões de frequência óptica** (CR, 431)

Resolução 9

A 23ª Conferência Geral,

considerando:

- os progressos e as melhorias rápidos e significativos alcançados no desempenho de padrões de frequência óptica,
- que as técnicas de pentes de frequência com pulsos femtosegundos são hoje em dia correntemente usadas para relacionar radiações óticas e de micro-ondas na mesma localização,
- que os Institutos Nacionais de Metrologia (INM) estão a trabalhar em técnicas de comparação de padrões de frequência óptica em curtas distâncias,
- que as técnicas de comparação remotas necessitam de ser desenvolvidas a nível internacional, de modo que padrões de frequência óptica possam ser comparados,

acolhe favoravelmente

- as atividades do Grupo de Trabalho Conjunto do Comitê Consultivo para o Comprimento e do Comitê Consultivo para o Tempo e Frequência para rever as frequências das representações do segundo baseadas em frequências ópticas,
- os aditamentos à implementação prática da definição do metro e à lista de radiações recomendadas, aprovadas pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas em 2002, 2003, 2005, 2006 e 2007,
- a iniciativa tomada pelo *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) de se questionar sobre o modo de comparação dos padrões de frequência óptica,

recomenda que:

- os Institutos Nacionais de Metrologia comprometam os recursos necessários ao desenvolvimento de padrões de frequência óptica e à respectiva comparação,
- o BIPM promova a coordenação de um projeto internacional com a participação dos Institutos Nacionais de Metrologia, com o objetivo de estudar técnicas que possam ser utilizadas para a comparação de padrões de frequência óptica.

■ **Sobre o esclarecimento da definição do kelvin, unidade de temperatura termodinâmica (CR, 432)**

Resolução 10

O kelvin foi redefinido na 26ª reunião da CGPM em 2018 (resolução 1, ver pág. 91).

A 23ª Conferência Geral,

considerando

- que o kelvin, a unidade de temperatura termodinâmica, é definido pela fração $1/273,16$ da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água,
- que a temperatura do ponto triplo da água depende da abundância relativa dos isótopos de hidrogênio e de oxigênio presentes na amostra de água utilizada,
- que este efeito é agora uma das principais fontes de discrepâncias observadas entre as várias realizações do ponto triplo da água,

toma nota e acolhe favoravelmente a decisão do Comitê Internacional de outubro de 2005, a conselho do Comitê Consultivo para a Termometria, segundo a qual

- a definição do kelvin diz respeito a água de composição isotópica específica,
- a composição isotópica da água é 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 composição a do material de referência da Agência Internacional de Energia Atômica “Água de oceano média padrão de Viena” (*Vienna standard mean ocean water, VSMOW*), tal como recomendado pela União Internacional de Química Pura e Aplicada em “Pesos Atômicos dos Elementos: Revisão 2000”,

- a composição referida seja mencionada numa nota anexa à definição do kelvin na brochura sobre o Sistema Internacional de Unidades, da maneira seguinte:

"Esta definição refere-se à água de composição isotópica definida pelas seguintes razões de grandeza de material: 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 ".

■ **Sobre a eventual redefinição de certas unidades de base do Sistema Internacional de Unidades (SI)** (CR, 434)

A 26ª reunião a CGPM (2018) aprovou a revisão do SI (Resolução 1, ver pág. 91).

Resolução 12

A 23ª Conferência Geral,

considerando

- que os Institutos Nacionais de Metrologia e o *Bureau International de Pesos e Medidas* (BIPM) têm dedicado esforços consideráveis ao longo de muitos anos para promover e melhorar o Sistema Internacional de Unidades (SI), estendendo as fronteiras da metrologia, de modo a definir as unidades de base do SI em função das constantes da natureza – as constantes físicas fundamentais,
- que entre as sete unidades de base do SI, apenas o quilograma ainda é definido a partir de um objeto material (artefato), ou seja, do protótipo internacional do quilograma (2ª CGPM, 1889 e 3ª CGPM, 1901), e que as definições do ampere, do mol e da candela dependem do quilograma,
- a 21ª Conferência Geral adotou em 1999 a Resolução 7, a qual recomenda que “os laboratórios nacionais mantenham os seus esforços para melhorar experiências que relacionem a unidade de massa com constantes fundamentais ou atômicas, de modo a que venham, no futuro, a servir de base a uma nova definição do quilograma”,
- os vários progressos alcançados nos últimos anos para relacionar a massa do protótipo internacional à constante de Planck, h , ou à constante de Avogadro, N_A ,
- as iniciativas encetadas para determinar o valor de um certo número de constantes fundamentais, incluindo o da constante de Boltzmann k ,
- que no seguimento dos progressos recentemente alcançados, há implicações significativas e benefícios potenciais das novas definições de quilograma, ampere, kelvin e mol,
- a Recomendação 1 (CI-2005) do Comitê Internacional adotada na sessão de outubro de 2005 e várias recomendações dos Comitês Consultivos sobre a redefinição de uma ou mais unidades de base do SI,

tendo em conta

- que as alterações nas definições das unidades do SI devem ser consistentes,
- que é desejável que as definições das unidades de base do SI sejam fáceis de entender,
- o trabalho realizado pelo Comitê Internacional e os respectivos Comitês Consultivos,
- a necessidade de controlar os resultados das experiências relevantes,

- a importância de solicitar comentários e contribuições à comunidade alargada de técnicos e utilizadores,
- a decisão do Comitê Internacional em 2005 de aprovar, em princípio, a preparação de novas definições do quilograma, do ampere, do kelvin e a possibilidade de redefinir o mol,

recomenda que os Institutos Nacionais de Metrologia e o BIPM

- prossigam as experiências adequadas para que o Comitê Internacional possa decidir se é ou não possível redefinir o quilograma, o ampere, o kelvin e o mol usando os valores estabelecidos das constantes fundamentais à data da realização da 24ª Conferência Geral (2011),
- reflitam, em colaboração com o Comitê Internacional, os respectivos Comitês Consultivos e os grupos de trabalho relevantes, sobre os meios práticos de realizar as novas definições baseadas nos valores estabelecidos de constantes fundamentais, preparem a implementação prática de cada uma delas e analisem a maneira mais adequada de explicar as novas definições aos utilizadores,
- promovam campanhas de sensibilização de modo a alertar as comunidades de utilizadores sobre a eventualidade de novas definições, para que as respectivas implicações técnicas e jurídicas, bem como as respectivas realizações práticas, sejam cuidadosamente discutidas e consideradas,

e solicita ao Comitê Internacional que apresente um relatório sobre este assunto na 24ª Conferência Geral em 2011 e empreenda todos os preparativos que considere necessários para que, se os resultados das experiências forem considerados adequados e as necessidades dos utilizadores satisfeitas, seja formalmente proposto à 24ª Conferência Geral a aprovação de novas definições do quilograma, do ampere, do kelvin e do mol.

CIPM, 2009

■ Atualização da lista das frequências padrão (PV, 77, 235)

Recomendação 2

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM),

considerando

- que foi estabelecida uma lista comum de "Valores recomendados das frequências padrão para a implementação prática da definição do metro e para as representações secundárias do segundo";
- que o Grupo de Trabalho Conjunto CCL-CCTF sobre Padrões de Frequência considerou várias frequências candidatas atendendo à respectiva inclusão nesta lista;

recomenda

que as frequências de transição seguintes sejam incluídas ou atualizadas na lista das frequências padrão recomendadas:

- a transição óptica não perturbada $5s^2\ ^1S_0 - 5s\ 5p\ ^3P_0$ do átomo neutro de ^{87}Sr , com frequência $f = 429\ 228\ 004\ 229\ 873,7\ \text{Hz}$, e incerteza padrão relativa de 1×10^{-15} (esta radiação já tinha sido aprovada pelo CIPM como representação secundária do segundo);
- a transição óptica não perturbada $5s^2\ ^1S_0 - 5s\ 5p\ ^3P_0$ do átomo neutro de ^{88}Sr , com frequência $f = 429\ 228\ 066\ 418\ 012\ \text{Hz}$, e incerteza padrão relativa de 1×10^{-14} ;
- a transição óptica não perturbada $4s\ ^2S_{1/2} - 3d\ ^2D_{5/2}$ do íon de $^{40}\text{Ca}^+$, com frequência $f = 411\ 042\ 129\ 776\ 393\ \text{Hz}$, e incerteza padrão relativa de 4×10^{-14} ;
- a transição óptica não perturbada $^2S_{1/2} (F = 0) - ^2F_{7/2} (F = 3, m_F = 0)$ do íon de $^{171}\text{Yb}^+$, com frequência $f = 642\ 121\ 496\ 772\ 657\ \text{Hz}$, e incerteza padrão relativa de 6×10^{-14} ;
- a transição óptica não perturbada $6s^2\ ^1S_0 (F = 1/2) - 6s\ 6p\ ^3P_0 (F = 1/2)$ do átomo neutro de ^{171}Yb com frequência $f = 518\ 295\ 836\ 590\ 864\ \text{Hz}$, e incerteza padrão relativa de $1,6 \times 10^{-13}$.

24ª CGPM, 2011

■ Sobre a eventual revisão futura do Sistema Internacional de Unidades, o SI (CR, 532)

Resolução 1

A Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), na sua 24ª reunião, considerando

- que há consenso internacional sobre a importância, valor e benefícios potenciais de redefinir um certo número de unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI),
- que os Institutos Nacionais de Metrologia e o *Bureau International de Pesos e Medidas* (BIPM) têm, adequadamente, despendido esforços consideráveis nas últimas décadas para fazer progredir o Sistema Internacional de Unidades (SI), estendendo as fronteiras da metrologia, de modo a que as unidades de base do SI possam ser definidas a partir das constantes da natureza – as constantes físicas fundamentais ou as propriedades dos átomos,
- que um exemplo proeminente do sucesso desses esforços é a definição atual da unidade do SI de comprimento, o metro (17ª reunião da CGPM, 1983, Resolução 1), que associa a unidade a um valor exato da velocidade da luz no vácuo c , ou seja, 299 792 458 metros por segundo,
- que das sete unidades de base do SI, apenas o quilograma é ainda definido a partir de um objeto material (artefato), ou seja, o protótipo internacional do quilograma (1ª reunião da CGPM, 1889;

Na 26ª reunião a CGPM (2018) aprovou a revisão do SI (Resolução 1, ver pág. 91).

3ª reunião da CGPM, 1901), e que as definições do ampere, do mol e da candela dependem do kilograma,

- que embora o protótipo internacional tenha prestado serviços à ciência e tecnologia desde que foi aprovado pela CGPM na 1ª reunião em 1889, a sua utilização apresenta limitações importantes, sendo uma das mais significativas que a sua massa não esteja explicitamente associada a uma constante da natureza e que, portanto, a sua estabilidade a longo prazo não possa ser garantida,
- que a CGPM, na 21ª reunião em 1999, adotou a Resolução 7, que recomenda que “os institutos nacionais continuem os seus esforços para aperfeiçoar realizações experimentais que relacionam a unidade de massa com as constantes fundamentais ou atômicas, visando uma futura redefinição do kilograma”,
- que muitos avanços têm sido feitos nos últimos anos para relacionar a massa do protótipo internacional à constante de Planck h , por métodos que incluem as balanças de watt e medições da massa de um átomo de silício,
- que as incertezas de todas as unidades elétricas do SI realizadas direta ou indiretamente, por meio do efeito Josephson e do efeito Hall quântico, e a partir dos valores no SI das constantes de Josephson e de von Klitzing, K_J e R_K , poderiam ser significativamente reduzidas se o kilograma fosse redefinido considerando um valor numérico exato de h , e se o ampere fosse redefinido considerando um valor numérico exato da carga elementar e ,
- que o kelvin é atualmente definido em função de uma propriedade intrínseca da água que, embora seja uma constante da natureza, na prática depende da pureza e da composição isotópica da água utilizada,
- que é possível redefinir o kelvin de modo a considerar um valor numérico exato da constante de Boltzmann, k ,
- que é também possível redefinir o mol de forma a associá-lo a um valor numérico exato da constante de Avogadro N_A , e assim não depender da definição do kilograma, mesmo quando o kilograma for definido através de um valor numérico exato de h , o que poria em evidência a distinção entre as grandezas quantidade de matéria e massa,
- que as incertezas dos valores de muitas outras constantes fundamentais e fatores de conversão de energia importantes seriam eliminadas ou reduzidas de maneira considerável se h , e , k e N_A tivessem valores numéricos exatos quando expressos em unidades do SI,
- que a CGPM, na 23ª reunião em 2007, adotou a Resolução 12 na qual foi esboçado o trabalho que deveria ser conduzido pelos INM, o BIPM e o Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), bem como os respectivos Comitês Consultivos, de modo a que as novas definições do kilograma, do ampere, do kelvin e

do mol com base nas constantes fundamentais pudessem ser adotadas,

- que, embora este trabalho tenha progredido bem, nem todos os objetivos definidos pela Resolução 12 adotada pela CGPM na sua 23ª reunião em 2007 foram atendidos, e portanto, o Comitê Internacional de Pesos e Medidas não está pronto para apresentar uma proposta final,
- que, apesar disso, é atualmente possível apresentar uma explicação clara e detalhada do que provavelmente será proposto,

tem em consideração a intenção do Comitê Internacional de Pesos e Medidas de propor uma revisão do SI, da seguinte forma:

- o Sistema Internacional de Unidades, o SI, será o sistema de unidades segundo o qual:
 - a frequência da transição hiperfina do estado fundamental não perturbado do átomo de césio 133 $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ é exatamente igual a 9 192 631 770 hertz,
 - a velocidade da luz no vácuo c é exatamente igual a 299 792 458 metros por segundo,
 - a constante de Planck h é exatamente igual a $6,626\,06\text{X} \times 10^{-34}$ joule segundo *,
 - a carga elementar e é exatamente igual a $1,602\,17\text{X} \times 10^{-19}$ coulomb,
 - a constante de Boltzmann k é exatamente igual a $1,380\,6\text{X} \times 10^{-23}$ joule por kelvin,
 - a constante de Avogadro N_A é exatamente igual a $6,022\,14\text{X} \times 10^{23}$ por mol,
 - a eficácia luminosa K_{cd} da radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz é exatamente igual a 683 lúmen por watt,

* O símbolo X que surge na expressão das constantes indica o algarismo correspondente que não era conhecido à data de adoção da resolução.

onde

- (i) as unidades hertz, joule, coulomb, lúmen e watt, respectivamente com os símbolos Hz, J, C, lm e W, estão relacionadas com as unidades segundo, metro, quilograma, ampere, kelvin, mol e candela, com os símbolos s, m, kg, A, K, mol e cd, respectivamente, de acordo com $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$, $\text{J} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$, $\text{C} = \text{s A}$, $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$, e $\text{W} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$,
- (ii) o símbolo X neste Esboço de Resolução corresponde a um ou mais dígitos adicionais a serem considerados nos valores numéricos de h , e , k e N_A , usando os valores mais recentes do ajuste fornecido pelo CODATA,

o que significa que o SI continuará a ter o conjunto atual de sete unidades de base e que, em particular

- o quilograma continuará a ser a unidade de massa, mas o respectivo valor será determinado fixando-se o valor numérico da constante de Planck em exatamente 6,626 06X

$\times 10^{-34}$ quando expressa em $\text{m}^2 \text{kg s}^{-1}$, unidade do SI igual a joule segundo, J s,

- o ampere continuará a ser a unidade de corrente elétrica, mas o respectivo valor será determinado fixando-se o valor numérico da carga elementar em exatamente $1,602\,17 \times 10^{-19}$ quando expressa em s A, unidade do SI igual ao coulomb, C,
- o kelvin continuará a ser a unidade de temperatura termodinâmica, mas o seu valor será determinado fixando-se o valor numérico da constante de Boltzmann em exatamente $1,380\,6 \times 10^{-23}$ quando expressa em $\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$, unidade do SI igual a joule por kelvin, J K^{-1} ,
- o mol continuará a ser a unidade de quantidade de matéria de uma entidade elementar específica, ou seja, um átomo, uma molécula, um íon, um elétron ou qualquer outra partícula ou grupo particular de tais partículas, mas o seu valor será determinado fixando-se o valor numérico da constante de Avogadro em exatamente $6,022\,14 \times 10^{23}$ quando expressa na unidade do SI, mol^{-1} .

A Conferência Geral de Pesos e Medidas

considera ainda que como

- as novas definições do quilograma, do ampere, do kelvin e do mol serão redigidas usando uma formulação designada como "constante explícita", ou seja, uma definição em que a unidade é definida indiretamente especificando-se explicitamente um valor exato para uma constante fundamental bem reconhecida,
- a definição existente do metro está relacionada a um valor exato da velocidade da luz no vácuo, que é também uma constante fundamental bem reconhecida,
- a definição existente do segundo está relacionada a um valor exato de uma propriedade bem definida do átomo de césio, que é também uma constante da natureza,
- a definição existente da candela não está associada a uma constante fundamental, mas pode ser considerada como estando relacionada a um valor exato de uma constante da natureza,
- a compreensão do Sistema Internacional seria melhorada se todas as suas unidades de base fossem definidas usando uma formulação similar,

o Comitê Internacional de Pesos e Medidas também propará

a reformulação das definições existentes do segundo, do metro e da candela em formas completamente equivalentes, que poderiam ser as seguintes:

- o segundo, símbolo s, é a unidade de tempo; o respectivo valor é determinado fixando-se o valor numérico da frequência da transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio

133 em repouso, a uma temperatura de 0 K, exatamente em 9 192 631 770 quando expressa em s^{-1} , unidade do SI igual ao hertz, Hz,

- o metro, símbolo m, é a unidade de comprimento; o respectivo valor é determinado fixando-se o valor numérico da velocidade da luz no vácuo em exatamente 299 792 458 quando expressa em unidades do SI $m s^{-1}$,
- a candela, símbolo cd, é a unidade de intensidade luminosa numa determinada direção; o respectivo valor é determinado fixando-se o valor numérico da eficácia luminosa da radiação monocromática com frequência 540×10^{12} Hz em exatamente 683 quando expressa em unidade do SI $m^{-2} kg^{-1} s^3 cd sr$ ou $cd sr W^{-1}$, unidade do SI igual a lúmen por watt, $lm W^{-1}$.

Deste modo, será evidente que as definições das sete unidades de base do SI decorrem naturalmente do conjunto das sete constantes indicadas acima.

Consequentemente, na data escolhida para a implementação da revisão do SI:

- a definição do kilograma em vigor desde 1889, baseada na massa do protótipo internacional do kilograma (1ª reunião da CGPM, 1889; 3ª reunião da CGPM, 1901), será revogada,
- a definição do ampere em vigor desde 1948 (9ª reunião da CGPM, 1948), baseada na definição proposta pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM, 1946, Resolução 2), será revogada,
- os valores convencionais da constante de Josephson K_{J-90} e da constante de von Klitzing R_{K-90} adotados pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM, 1988, Recomendações 1 e 2) a pedido da CGPM (18ª reunião da CGPM, 1987, Resolução 6) para o estabelecimento das representações do volt e do ohm usando os efeitos Josephson e Hall quântico, respectivamente, serão revogados,
- a definição do kelvin em vigor desde 1967/68 (13ª reunião da CGPM, 1967/68), baseada numa definição anterior menos explícita (10ª reunião da CGPM, 1954, Resolução 3), será revogada,
- a definição do mol em vigor desde 1971 (14ª reunião da CGPM, 1971, Resolução 3), baseada numa definição na qual a massa molar de carbono 12 tem o valor exato de $0,012 kg mol^{-1}$, será revogada,
- as definições existentes do metro, do segundo e da candela, em vigor desde que foram adotadas pela CGPM nas reuniões 17ª (1983, Resolução 1), 13ª (1967/68, Resolução 1) e 16ª (1979, Resolução 3) respectivamente, serão revogadas.

A Conferência Geral de Pesos e Medidas

considera ainda que na mesma data

- a massa do protótipo internacional do quilograma $m(K)$ será igual a 1 kg, mas com uma incerteza relativa igual à do valor recomendado de h pouco antes da redefinição, e portanto o respectivo valor será determinado experimentalmente,
- a constante magnética (a permeabilidade do vácuo) μ_0 será $4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$, mas com uma incerteza relativa igual à do valor recomendado da constante de estrutura fina α , e portanto o respectivo valor será determinado experimentalmente,
- a temperatura termodinâmica do ponto triplo da água do T_{TPW} será 273,16 K, mas com uma incerteza relativa igual à do valor recomendado de k pouco antes da redefinição, e portanto o respectivo valor será determinado experimentalmente,
- a massa molar do carbono 12 $M(^{12}\text{C})$ será $0,012 \text{ kg mol}^{-1}$, mas com uma incerteza relativa igual ao valor recomendado de $N_A h$ pouco antes da redefinição, e portanto o respectivo valor será determinado experimentalmente.

A Conferência Geral de Pesos e Medidas

encoraja

- os cientistas dos Institutos Nacionais de Metrologia, do BIPM e das instituições acadêmicas a continuar os seus esforços e a tornar conhecidos para a comunidade científica em geral e ao CODATA em particular, os resultados dos seus trabalhos relevantes para a determinação das constantes h , e , k , e N_A , e
- o BIPM a continuar o seu trabalho de garantir a rastreabilidade ao protótipo internacional do quilograma, dos protótipos de massa que mantém, e de desenvolver um conjunto de padrões de referência para facilitar a disseminação da unidade de massa quando redefinida,

e convida

- o CODATA a continuar a fornecer os valores das constantes fundamentais da física ajustados com base em todas as informações relevantes disponíveis e a tornar os resultados conhecidos para o Comitê Internacional por meio do Comitê Consultivo de Unidades, uma vez que serão os valores e as incertezas do CODATA que serão usados para a revisão do SI,
- o CIPM a fazer uma proposta de revisão do SI assim que as recomendações da Resolução 12 aprovada pela CGPM na sua 23ª reunião sejam satisfeitas, em particular a preparação da *mise en pratique* para as novas definições do quilograma, ampere, kelvin e do mol,
- o CIPM a continuar seu trabalho a fim de obter uma melhor formulação das definições das Unidades de base do SI baseadas em constantes fundamentais, sendo o objetivo atingir, tanto quanto possível, uma descrição que seja mais fácil de entender para todos os usuários, mantendo o rigor e a clareza científicos,
- o CIPM, os Comitês Consultivos, o BIPM, a OIML e os Institutos Nacionais de Metrologia a intensificar os respectivos esforços

para criar campanhas de sensibilização destinadas a informar as comunidades de usuários e o público em geral sobre o projeto para redefinir algumas unidades do SI e para encorajar a consideração de aspectos legais, técnicos e implicações práticas dessas redefinições, a fim de solicitar comentários e contribuições da grande comunidade de cientistas e usuários.

■ **Sobre a revisão da *mise en pratique* do metro e do desenvolvimento de novas frequências ópticas padrão (CR, 546)**

Resolução 8

A Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), na sua 24ª reunião, **considerando** que

- os desenvolvimentos de padrões de frequências ópticas melhoraram rapidamente e de forma muito significativa,
- os Institutos Nacionais de Metrologia estão atualmente a implementar técnicas de comparação de curta distância de padrões de frequências ópticas,
- técnicas de comparação remota para padrões de frequências ópticas devem ser desenvolvidas a nível internacional,

acolhe favoravelmente

- as atividades do Grupo de Trabalho Conjunto do Comitê Consultivo do Comprimento (CCL) e do Comitê Consultivo do Tempo e Frequência (CCTF) para rever as frequências das representações ópticas do segundo,
- os elementos adicionados pelo CIPM em 2009 à lista comum de "Valores recomendados de frequências padrão para aplicações, incluindo a realização prática do metro e representações secundárias do segundo,
- o estabelecimento de um grupo de trabalho CCTF sobre Coordenação do Desenvolvimento de Técnicas avançadas de transferência de Tempo e Frequência,

e recomenda que

- NMI comprometam recursos para o desenvolvimento de padrões de frequência óptica e a sua comparação,
- o BIPM apoia a coordenação de um projeto internacional com a participação de NMI, orientado para o estudo de técnicas que possam servir para comparar padrões de frequências ópticas.

CIPM, 2013

■ **Atualizações da lista das frequências padrão (PV, 81, 144)**

Recomendação 1

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), **considerando** que

- foi estabelecida uma lista comum de "valores recomendados de frequências padrão para aplicações, incluindo a realização prática do metro e representações secundárias do segundo",
- que o Grupo de Trabalho Conjunto CCL e CCTF sobre Padrões de Frequência examinou diversas frequências candidatas para inclusão nesta lista,

recomenda as seguintes alterações na lista de "Valores recomendados de frequências padrão para aplicações, incluindo a realização prática do metro e representações secundárias do segundo":

- que a seguinte frequência de transição seja adicionada à lista:
 - a transição óptica não perturbada $6s^2\ ^1S_0 - 6s\ 6p\ ^3P_0$ do átomo neutro de ^{199}Hg com frequência de 1 128 575 290 808 162 Hz e incerteza padrão relativa determinada de $1,7 \times 10^{-14}$;
- que as seguintes frequências de transição sejam atualizadas na lista:
 - a transição óptica não perturbada $4s\ ^2S_{1/2} - 3d\ ^2D_{5/2}$ do íon de $^{40}\text{Ca}^+$ com frequência de 411 042 129 776 395 Hz e incerteza padrão relativa estimada de $1,5 \times 10^{-14}$;
 - a transição óptica não perturbada $1S - 2S$ do átomo neutro de ^1H com frequência de 1 233 030 706 593 518 Hz e incerteza padrão relativa estimada de $1,2 \times 10^{-14}$;

Nota: Esta frequência corresponde à metade da diferença de energia entre os estados $1S$ e $2S$;

- atualizar as seguintes frequências de transição na lista das frequências padrão recomendadas e aprová-las como representações secundárias do segundo:
 - a transição óptica não perturbada $6s\ ^2S_{1/2} - 4f\ ^{13}6s^2\ ^2F_{7/2}$ do íon $^{171}\text{Yb}^+$ (óctuplo), com frequência de 642 121 496 772 645,6 Hz e incerteza padrão relativa estimada de $1,3 \times 10^{-15}$;
 - a transição óptica não perturbada $6s^2\ ^1S_0 - 6s\ 6p\ ^3P_0$ do átomo neutro de ^{171}Yb com frequência de 518 295 836 590 865,0 Hz e incerteza padrão relativa estimada de $2,7 \times 10^{-15}$;
- incluir a seguinte frequência de transição na lista das frequências padrão recomendadas e aprová-la como uma representação secundária do segundo:
 - a transição óptica não perturbada $3s^2\ ^1S_0 - 3s\ 3p\ ^3P_0$ do íon $^{27}\text{Al}^+$ com frequência de 1 121 015 393 207 857,3 Hz e incerteza padrão relativa estimada de $1,9 \times 10^{-15}$;
- incluir a seguinte frequência de transição na lista das frequências padrão recomendadas e aprová-la como uma representação secundária do segundo:
 - a transição óptica não perturbada $5d\ ^{10}6s\ ^2S_{1/2} - 5d\ ^96s^2\ ^2D_{5/2}$ do íon de $^{199}\text{Hg}^+$ com frequência de 1 064 721 609 899 145,3 Hz e incerteza padrão relativa estimada de $1,9 \times 10^{-15}$;

- a transição óptica não perturbada $6s\ ^2S_{1/2} (F = 0, m_F = 0) - 5d\ ^2D_{3/2} (F = 2, m_F = 0)$ do íon de $^{171}\text{Yb}^+$ (quadrupolo) com frequência de 688 358 979 309 307,1 Hz e incerteza padrão relativa estimada de 3×10^{-15} ;
- a transição óptica não perturbada $5s\ ^2S_{1/2} - 4d\ ^2D_{5/2}$ íon $^{88}\text{Sr}^+$ com uma frequência de 444 779 044 095 485,3 Hz e com uma incerteza padrão relativa determinada de $4,0 \times 10^{-15}$,
- a transição óptica não perturbada $5s^2\ ^1S_0 - 5s5p\ ^3P_0$ do átomo neutro de ^{87}Sr com frequência de 429 228 004 229 873,4 Hz e incerteza padrão relativa estimada de 1×10^{-15} ;
- atualizar a seguinte frequência de transição na lista das frequências padrão recomendadas e aprová-la como uma representação secundária do segundo:
 - a transição quântica hiperfina não perturbada do estado fundamental do átomo de ^{87}Rb , com frequência de 6 834 682 610,904 312 Hz e incerteza padrão relativa estimada de $1,3 \times 10^{-15}$.

Nota: Assume-se que o valor da incerteza padrão corresponde a um nível de confiança de 68 %. No entanto, dado o número muito limitado de dados disponíveis, existe a possibilidade de que, em retrospectiva, isso possa não ser exato.

25ª CGPM, 2014

■ **Na próxima revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI** (CR, 416 e *Metrologia*, 2015, **52**, 155)

Resolução 1

A 26ª CGPM em 2018 (Resolução 1, ver pág. 91) finalmente aprovou a revisão do SI.

A Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), na sua 25ª reunião, **recordando**

- A Resolução 1 adotada pela CGPM na 24ª reunião (2011) que registra a intenção do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) de propor uma revisão do SI consistindo em relacionar as definições do quilograma, do ampere, do kelvin e do mol com valores numéricos exatos da constante de Planck h , da carga elementar e , da constante de Boltzmann k e da constante de Avogadro N_A , respectivamente, para modificar a forma de definição do SI, bem como a formulação das definições das unidades do SI para as grandezas tempo, comprimento, massa, corrente elétrica, temperatura termodinâmica, quantidade de matéria e intensidade luminosa, de modo que as constantes de referência nas quais o SI se baseia sejam evidentes,
- as inúmeras vantagens, mencionadas na Resolução 1, que esta revisão de SI apresentará para a ciência, a tecnologia, a indústria e o comércio, em especial o fato de relacionar o quilograma com uma constante da natureza e não mais com a massa de um artefato, o que garantirá a sua estabilidade a longo prazo,

- A Resolução 7, adotada pela CGPM na 21ª reunião (1999), que incentiva os Institutos Nacionais de Metrologia a dar continuidade aos experimentos que visam alcançar a redefinição do kilograma,
- A Resolução 12 adotada pela CGPM na 23ª reunião (2007), que descreve o trabalho que deve ser realizado pelos NMI, o *Bureau International de Pesos e Medidas* (BIPM), e o CIPM juntamente com seus Comitês Consultivos (CC) a fim de permitir a adoção pela CGPM da revisão,

considerando que houve um progresso significativo a fim de realizar o trabalho necessário, incluindo,

- a aquisição de dados relevantes, a respectiva análise pelo *Committee on Data for Science and Technology* (CODATA) a fim de obter os valores necessários para as constantes fundamentais de h , e , k e N_A ,
- o desenvolvimento pelo BIPM de um conjunto de padrões de massa de referência que facilitará a disseminação da unidade de massa uma vez revisto o SI,
- preparação de *mises-en-pratique* para as novas definições do kilograma, ampere, kelvin e mol,

observando que o Comitê Consultivo de Unidades (CCU), CIPM, BIPM, NMI e Comitês Consultivos devem continuar seu trabalho com o foco na

- implementação de campanhas de sensibilização para informar as comunidades de usuários e o público em geral sobre a proposta de revisão de SI,
- preparação da 9ª edição da brochura sobre o SI que apresenta o SI revisto de uma forma que pode ser entendida por um público diverso sem comprometer o rigor científico,

considerando que apesar do progresso alcançado os dados disponíveis ainda não parecem ser suficientemente robustos para que a CGPM adote o SI revisto na sua 25ª reunião,

recomenda

- aos laboratórios nacionais de metrologia, BIPM e instituições universitárias a continuarem os seus esforços para determinar experimentalmente os valores das constantes h , e , k e N_A com o nível necessário de incerteza,
- aos Institutos Nacionais de Metrologia a continuarem ativamente a analisar e discutir estes resultados no âmbito dos comitês consultivos,
- ao CIPM a continuar a desenvolver um plano para a implementação da Resolução 1 aprovada pela CGPM na 24ª reunião (2011), em estreita colaboração com os Comitês Consultivos e a CCU, e,
- ao CIPM e aos seus Comitês Consultivos, os Institutos Nacionais de Metrologia, o BIPM, bem como outras organizações, como a Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML), a

continuarem os seus esforços para realizar os trabalhos necessários para que a CGPM adote, na 26ª reunião, uma resolução permitindo a substituição do atual SI pelo SI revisto, desde que os dados obtidos, tanto no que se refere ao seu número, quanto às incertezas associadas ou ao seu nível de consistência, sejam considerados satisfatórios.

CIPM, 2015

■ Atualizações da lista das frequências padrão (PV, 83, 207)

Recomendação 2

Mais atualizações estão disponíveis no *website* do BIPM.

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM),

considerando

- que uma lista comum de "valores recomendados de frequências padrão para aplicações, incluindo a realização prática do metro e representações secundárias do segundo" foi estabelecida,
- que o Grupo de Trabalho de Frequências Padrão CCL-CCTF (WGFS) analisou diversas frequências candidatas a fim de atualizar esta lista,

recomenda

que as seguintes frequências de transição devam ser atualizadas na lista de valores recomendados de frequências padrão:

- transição óptica não perturbada $6s^2\ ^1S_0 - 6s6p\ ^3P_0$ do átomo neutro de ^{199}Hg , com frequência de $f_{199}\text{Hg} = 1\ 128\ 575\ 290\ 808\ 154,8\ \text{Hz}$ e incerteza padrão relativa estimada de 6×10^{-16} ;
- transição óptica não perturbada $6s\ ^2S_{1/2} - 4f^{13}\ 6s^2\ ^2F_{7/2}$ do íon de $^{171}\text{Yb}^+$ com uma frequência de $f_{171\text{Yb}^+}$ (óctuplo) = $642\ 121\ 496\ 772\ 645,0\ \text{Hz}$ e incerteza padrão relativa estimada de 6×10^{-16} (esta radiação já foi aprovada pelo CIPM como representação secundária do segundo);
- transição óptica não perturbada $6s\ ^2S_{1/2} (F = 0, m_F = 0) - 5d\ ^2D_{3/2} (F = 2, m_F = 0)$ do íon de $^{171}\text{Yb}^+$, com frequência de $f_{171\text{Yb}^+}$ (quadrupolo) = $688\ 358\ 979\ 309\ 308,3\ \text{Hz}$ com incerteza padrão relativa estimada de 6×10^{-16} (esta radiação já foi aprovada pelo CIPM como uma representação secundária do segundo);
- transição óptica não perturbada $5s\ ^2S_{1/2} - 4d\ ^2D_{5/2}$ do íon de $^{88}\text{Sr}^+$ com frequência de $f_{88\text{Sr}^+} = 444\ 779\ 044\ 095\ 486,6\ \text{Hz}$ e incerteza padrão relativa estimada de $1,6 \times 10^{-15}$ (esta radiação já foi aprovada pelo CIPM como uma representação secundária do segundo);
- transição óptica não perturbada $4s\ ^2S_{1/2} - 3d\ ^2D_{5/2}$ do íon de $^{40}\text{Ca}^+$ com frequência de $f_{40\text{Ca}^+} = 41\ 042\ 129\ 776\ 398,4\ \text{Hz}$ e incerteza padrão relativa estimada de $1,2 \times 10^{-14}$;
- transição óptica não perturbada $1S - 2S$ do átomo neutro de ^1H com frequência de $f_{1\text{H}} = 1\ 233\ 030\ 706\ 593\ 514\ \text{Hz}$ e incerteza padrão relativa estimada de 9×10^{-15} .

Nota: Esta frequência corresponde à metade da diferença de energia entre os estados 1S e 2S;

- transição óptica não perturbada $5s^2\ ^1S_0 - 5s5p\ ^3P_0$ do átomo neutro de ^{87}Sr com frequência de $f_{87\text{Sr}} = 429\,228\,004\,229\,873,2$ Hz e incerteza padrão relativa estimada de 5×10^{-16} (esta radiação já foi aprovada pelo CIPM como uma representação secundária do segundo);
- transição óptica não perturbada $6s^2\ ^1S_0 - 6s6p\ ^3P_0$ do átomo neutro de ^{171}Yb , com frequência de $f_{171\text{Yb}} = 518\,295\,836\,590\,864,0$ Hz e incerteza padrão relativa estimada de 2×10^{-15} (esta radiação já foi aprovada pelo CIPM como representação secundária do segundo);
- transição hiperfina não perturbada do estado fundamental do átomo de ^{87}Rb , com frequência de $f_{87\text{Rb}} = 6\,834\,682\,610,904\,310$ Hz e incerteza padrão relativa estimada de 7×10^{-16} (esta radiação já foi aprovada por o CIPM como representação secundária do segundo).

e **recomenda** igualmente

que as seguintes frequências de transição sejam incluídas na lista de valores recomendados de frequências padrão:

- molécula absorvente de $^{127}\text{I}_2$, componente a_1 do espectro de absorção saturada, transição R(36) 32-0.

Os valores $f_{a1} = 564\,074\,632,42$ MHz

$\lambda_{a1} = 531\,476\,582,65$ fm

com uma incerteza padrão relativa estimada de 1×10^{-10} , aplicável à radiação de um laser DFB de díodo de frequência dupla, estabilizado por uma célula de iodo localizada fora do laser.

- átomo absorvente de ^{87}Rb , transição $5S_{1/2} - 5P_{3/2}$, cruzamento de nível entre os componentes hiperfinos d e f da absorção saturada a 780 nm (transição D2)

Os valores $f_{d/f\text{ crossover}} = 384\,227\,981,9$ MHz

$\lambda_{d/f\text{ crossover}} = 780\,246\,291,6$ fm

com uma incerteza padrão relativa estimada de 5×10^{-10} aplicável à radiação de um laser de díodo sintonizável com uma cavidade externa, subordinado à ressonância cruzada de níveis d/f numa célula de rubídio localizada no exterior do laser.

Nota: Assume-se que o valor de incerteza padrão corresponde a um nível de confiança de 68 %. No entanto, dado o número muito limitado de resultados disponíveis, existe a possibilidade de que, em retrospectiva, isso não provar ser exato.

CIPM, 2017

■ **Sobre os progressos realizados com vista a uma eventual revisão do SI (PV, 85, 101)**

Decisão 10

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) acolhe com agrado as recomendações para a revisão do SI feitas pelos seus Comitês Consultivos.

O CIPM nota que as condições para proceder à revisão do SI se encontram agora satisfeitas e decide submeter o Projeto de Resolução A à Conferência Geral de Pesos e medidas (CGPM) na 26ª reunião e tomar todas as demais providências necessárias para proceder, conforme delineado, à redefinição do quilograma, do ampere, kelvin e mol.

26ª CGPM, 2018

■ **Sobre a revisão do Sistema Internacional de Unidades (SI)** (CR, na imprensa e na *Metrologia*, 2019, **56**, 022001)

Resolução 1

A Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), na 26ª reunião, **considerando**

- Que é essencial dispor de um Sistema de Unidades (SI) uniforme e acessível no mundo inteiro, para o comércio internacional, a indústria de alta tecnologia, a saúde humana e segurança, a proteção do ambiente, os estudos sobre a evolução do clima, e também na ciência fundamental que sustenta todos estes domínios,
- Que as unidades devem ser estáveis a longo prazo, coerentes e realizáveis na prática, sendo baseadas na atual descrição teórica da natureza, ao mais alto nível,
- Que a revisão do SI visa satisfazer as exigências propostas na Resolução 1 adotada por unanimidade na 24ª reunião (2011) do CGPM, que expõe em detalhe um novo modo de definir o SI a partir de um conjunto de sete constantes, selecionadas entre as constantes fundamentais da física e de outras constantes da natureza, a partir das quais as definições das sete unidades são deduzidas,
- Que as condições colocadas pela CGPM na 24ª reunião (2011), confirmadas na 25ª reunião (2014), para proceder à revisão do SI foram agora alcançadas.

decide

que, a partir de 20 de maio de 2019, o Sistema Internacional de unidades, o SI, é o sistema de unidades em que

- a frequência da transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio 133 não perturbado $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ é 9 192 631 770 Hz,
- a velocidade da luz no vácuo c é igual a 299 792 458 m/s,
- a constante de Planck h é $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ J s,
- a carga elementar e é $1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ C,

- a constante de Boltzmann k é $1,380\,649 \times 10^{-23}$ J/K,
- a constante de Avogadro N_A é $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ mol⁻¹,
- a eficácia luminosa de uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz K_{cd} é 683 lm/W,

onde, joule, coulomb, lúmen e watt, com símbolos de unidade Hz, J, C, lm e W, respectivamente, estão relacionadas com as unidades segundo, metro, quilograma, ampere, kelvin, mol, e candela, com símbolos de unidade s, m, kg, A, K, mol, e cd, respectivamente, de acordo com $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$, $\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$, $\text{C} = \text{A s}$, $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$ e $\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$.

Ao tomar esta decisão, a Conferência Geral toma conhecimento das consequências com respeito às unidades de base do SI, como estabelecidas na Resolução 1 da 24ª Conferência Geral, as quais confirma nos apêndices seguintes a esta Resolução, e que têm a mesma força que a própria Resolução.

A Conferência Geral convida o Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM) a produzir uma nova edição da sua brochura *sobre o SI*, “*Le Système international d’unités*”, na qual é apresentada uma descrição completa do SI.

Apêndice 1. Revogação das definições anteriores das unidades de base:

Segue da nova definição do SI adotada acima que

- a definição do segundo em vigor desde 1967/68 (13ª reunião da CGPM, Resolução 1) é revogada,
- a definição do metro em vigor desde 1983 (17ª reunião da CGPM, Resolução 1) é revogada,
- a definição do quilograma em vigor desde 1889 (1ª reunião da CGPM, 1889, 3ª reunião do CGPM, 1901) baseada na massa do protótipo internacional do quilograma é revogada,
- a definição do ampere em vigor desde 1948 (9ª reunião da CGPM) baseada na definição proposta pelo Comitê Internacional (CIPM, 1946, Resolução 2) é revogada,
- a definição do kelvin em vigor desde 1967/68 (13ª reunião da CGPM, Resolução 4) é revogada,
- a definição do mol em vigor desde 1971 (14ª reunião da CGPM, Resolução 3) é revogada,
- a definição da candela em vigor desde 1979 (16ª reunião da CGPM, Resolução 3) é revogada,
- a decisão de adotar os valores convencionais da constante de Josephson K_{J-90} e da constante de von Klitzing R_{K-90} tomadas pelo Comitê Internacional (CIPM, 1988, Recomendações 1 e 2) a pedido da Conferência Geral (18ª reunião da CGPM, 1987, Resolução 6) para o estabelecimento das representações do volt

e do ohm usando os efeitos Josephson e Hall quântico, respectivamente, é revogada.

Apêndice 2. Situação atual das constantes utilizadas previamente nas definições anteriores:

Resulta da nova definição do SI adotada acima, e dos valores recomendados do ajuste especial de 2017 do CODATA, nos quais se baseiam os valores das constantes definidoras, que à época em que esta Resolução foi adotada:

- a massa do protótipo internacional do quilograma, $m(K)$, é igual a 1 kg com uma incerteza padrão relativa igual à do valor recomendado de h no momento de adoção da presente resolução, a saber $1,0 \times 10^{-8}$, e que no futuro o seu valor será determinado de modo experimental,
- a permeabilidade magnética do vácuo, μ_0 , é igual a $4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$, com uma incerteza padrão relativa igual à do valor recomendado da constante da estrutura fina α no momento de adoção da presente resolução, a saber $2,3 \times 10^{-10}$, e que no futuro o seu valor será determinado de modo experimental,
- a temperatura termodinâmica do ponto triplo da água, T_{TPW} , é igual a 273,16 K com uma incerteza padrão relativa aproximadamente igual à do valor recomendado de k no momento de adoção da presente Resolução, a saber $3,7 \times 10^{-7}$, e que no futuro o seu valor será determinado de modo experimental,
- a massa molar do carbono 12, $M(^{12}\text{C})$, é igual a $0,012 \text{ kg mol}^{-1}$ com uma incerteza padrão relativa igual à do valor recomendado de $N_A h$ no momento de adoção da presente Resolução, a saber $4,5 \times 10^{-10}$, e que no futuro o seu valor será determinado de modo experimental.

Apêndice 3. As unidades de base do SI

A nova definição do SI adotada acima em termos dos valores numéricos fixados das constantes definidoras, de cada uma das sete unidades de base do SI tomando, como apropriado, uma ou mais destas constantes. As definições que daqui resultam e que têm efeito a partir de 20 de maio de 2019 são as seguintes:

- O segundo, símbolo s, é a unidade de tempo do SI. É definido tomando o valor numérico fixado da frequência do césio, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, que é a frequência da transição hiperfina do estado fundamental não perturbado do átomo de césio 133, igual a 9 192 631 770 quando expressa na unidade Hz, a qual é igual a s^{-1} .
- O metro, símbolo m, é a unidade do SI de comprimento. É definido tomando o valor numérico fixado da velocidade da luz no vácuo, c , igual a 299 792 458 quando expressa na unidade m

s^{-1} , onde o segundo é definido em função da frequência do césio $\Delta\nu_{Cs}$.

- O quilograma, símbolo kg, é a unidade do SI de massa. É definido tomando o valor numérico fixado da constante de Planck, h , igual a $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ quando expressa na unidade J s, a qual é igual a $kg\,m^2\,s^{-1}$, onde o metro e o segundo são definidos em função de c e $\Delta\nu_{Cs}$.
- O ampere, símbolo A, é a unidade do SI de corrente elétrica. É definido tomando o valor numérico fixado da carga elementar, e , igual a $1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ quando expressa na unidade C, a qual é igual A s, onde o segundo é definido em função de $\Delta\nu_{Cs}$.
- O kelvin, símbolo K, é a unidade do SI de temperatura termodinâmica. É definido tomando o valor numérico fixado da constante de Boltzmann, k , igual a $1,380\,649 \times 10^{-23}$, quando expressa na unidade J K⁻¹, a qual é igual $kg\,m^2\,s^{-2}\,K^{-1}$, onde o quilograma, o metro, e o segundo são definidos em função de h , c e $\Delta\nu_{Cs}$.
- O mol, símbolo mol, é a unidade do SI de quantidade de matéria. Um mol contém exatamente $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ entidades elementares. Este número é o valor numérico fixado da constante de Avogadro, N_A , quando expressa na unidade mol⁻¹ e é chamado de número de Avogadro.
- A quantidade de matéria, símbolo n , de um sistema, é uma medida do número de entidades elementares especificadas. Uma entidade elementar pode ser um átomo, uma molécula, um íon, um elétron, ou qualquer outra partícula ou grupo específico de partículas.
- A candela, símbolo cd, é a unidade do SI de intensidade luminosa em uma determinada direção. É definida tomando o valor numérico fixado da eficácia luminosa de uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz, K_{cd} , igual a 683, quando expressa na unidade lm W⁻¹, que é igual a cd sr W⁻¹ ou cd sr kg⁻¹ m⁻² s³, onde o quilograma, o metro e o segundo são definidos em função de h , c e $\Delta\nu_{Cs}$.

Apêndice 2. Realização prática das unidades principais

O Apêndice 2 está publicado apenas na forma eletrônica e está disponível no *website* do BIPM (www.bipm.org).

Apêndice 3. Unidades para a medição das grandezas fotoquímicas e fotobiológicas

O Apêndice 3 está publicado apenas na forma eletrônica e está disponível no *website* do BIPM (www.bipm.org).

Apêndice 4. Notas históricas sobre a evolução do Sistema Internacional de Unidades e as suas unidades de base

Parte 1. A evolução histórica da realização das unidades do SI

Os métodos experimentais utilizados para realizar as unidades com o apoio de equações da física chamam-se métodos primários. Um método primário tem como característica essencial permitir medir diretamente uma grandeza numa unidade particular a partir da sua definição utilizando apenas grandezas e constantes que não contenham a unidade em questão.

Tradicionalmente, uma unidade para uma dada grandeza era considerada como um exemplo particular daquela grandeza, escolhida para fornecer os valores numéricos de medições correntes num tamanho conveniente. Antes do início da ciência moderna, as unidades eram necessariamente definidas a partir de artefatos materiais, nomeadamente o metro para o comprimento e o quilograma para a massa, ou a partir da propriedade de um objeto particular, como a rotação da Terra para o segundo. Mesmo no início do sistema métrico no final do século XVIII, era reconhecido que uma definição mais desejável da unidade de comprimento, por exemplo, seria uma definição baseada numa propriedade universal da natureza tal como o comprimento de um pêndulo batendo o segundo. Uma tal definição seria independente do momento e do local de realização da unidade e seria em princípio acessível em todo mundo. Naquela época, as considerações práticas conduziram a definições mais simples, baseadas em artefatos, do metro e do quilograma e o segundo permaneceu ligado à rotação da Terra. Foi apenas em 1960 que a primeira definição não material do metro, a saber o comprimento de onda de uma radiação óptica específica, foi adotada.

Desde então, as definições do ampere, kelvin, do mol e da candela que foram adotadas em seguida não faziam referência a artefatos materiais: a definição do ampere estava baseada numa corrente elétrica específica necessária para produzir uma dada força eletromagnética e a definição do kelvin num estado termodinâmico particular do ponto triplo da água. A definição atômica do segundo era baseada numa transição específica do átomo de césio. O quilograma foi sempre uma exceção pois era a única unidade que permanecia baseada num artefato. A definição que abriu caminho a uma universalidade real foi a do metro adotada em 1983. Embora não indicasse explicitamente, esta definição considerava implicitamente um valor numérico fixado para a velocidade da luz. A definição foi, entretanto, reformulada de um modo tradicional e enunciava essencialmente que o metro era a distância percorrida pela luz num tempo específico. Deste modo, a definição do metro refletia e tinha a mesma forma que as definições das outras unidades de base do SI (por exemplo, “o ampere é a corrente que...”, e “o kelvin é a fração de uma temperatura especificada”). Tais definições podem designar-se como “definições explícitas da unidade”.

Embora estas definições atendam a muitos dos requisitos de universalidade e de acesso, e possam ser realizadas de diferentes modos, limitam, no entanto, as realizações práticas a experiências direta ou indiretamente ligadas a condições particulares ou a estados específicos indicados em cada definição. Como consequência, a exatidão da realização de tais definições nunca pode ser melhor do que a exatidão da realização de condições particulares ou de estados especificados nas definições.

Sendo este um problema particular com a presente definição do segundo, que se baseia numa

transição de micro-ondas de um átomo de cézio. Foi demonstrado que as frequências das transições óticas de diferentes átomos ou íons são atualmente mais reprodutíveis, por algumas ordens de grandeza, que a frequência definida do cézio.

Na presente revisão do SI baseada num conjunto de constantes definidoras, em vez de cada definição indicar uma condição ou estado específico, o que coloca um limite fundamental à exatidão da sua realização, pode ser utilizada qualquer equação da física apropriada que ligue uma constante particular ou constantes à grandeza que queremos medir. As unidades de base são assim definidas de um modo bastante mais geral, sem limite imposto pela ciência ou tecnologias atuais uma vez que desenvolvimentos futuros poderão conduzir à descoberta de equações que sejam desconhecidas hoje e que permitam realizar as unidades de maneiras diferentes, com um nível de exatidão muito mais elevado. Com um sistema de unidades assim definido, não existe em princípio nenhum limite à exatidão com que cada unidade possa ser realizada. Como exceção mantém-se a definição do segundo para a qual a transição de micro-ondas do cézio continua, de momento, na base da sua definição.

A diferença entre uma “definição explícita de unidade” e uma “definição com constante explícita” pode ser claramente ilustrada através das duas definições prévias do metro que se baseavam num valor numérico fixado para a velocidade da luz ou das duas definições do kelvin. A definição original do metro de 1983 indica, realmente, que “o metro é o comprimento do trajeto percorrido no vácuo pela luz durante $1/299\,792\,458$ do segundo”. A nova definição indica simplesmente que o metro é definido em função da constante que define o segundo, a frequência específica do cézio, e do valor numérico fixado da velocidade da luz expressa em unidades m s^{-1} . É assim possível utilizar qualquer equação da física incluindo, é claro, o especificado na definição anterior, o tempo necessário para efetuar o trajeto de uma dada distância, utilizada para as distâncias astronômicas, mas também a simples equação que liga a frequência e o comprimento de onda à velocidade da luz. A definição prévia do kelvin baseada num valor numérico fixado da temperatura do ponto triplo da água necessita afinal de uma medição à temperatura do ponto triplo da água. A nova definição, baseada no valor numérico fixado da constante de Boltzmann, é bastante mais geral no sentido em que todas as equações termodinâmicas que contenham k podem em princípio ser utilizadas para determinar uma temperatura termodinâmica em qualquer ponto da escala de temperatura. Por exemplo, determinando a excitação energética total de um corpo negro à temperatura T , equivalente a $(2\pi^5 k^4 / 15c^2 h^3) T^4$, em W m^{-2} , é possível determinar diretamente T .

Para o quilograma, a unidade cuja definição mudou de um modo mais fundamental na presente brochura, a realização pode ser realizada a partir de qualquer equação da física que ligue a massa, a constante de Planck, a velocidade da luz e a frequência do cézio. Uma de tais equações é a que descreve o funcionamento de uma balança eletromecânica, conhecida anteriormente como balança de watt e mais recentemente como balança de Kibble⁵⁰. Uma balança de Kibble permite a medição de uma potência mecânica, medida em função de uma massa, m , a aceleração devido à gravidade, g , e uma velocidade, v , usando uma potência elétrica medida a partir de uma corrente elétrica e uma tensão medida utilizando os efeitos Hall quântico e Josephson, respectivamente. A equação resultante é a seguinte $mgv = Ch$ onde C é uma constante de calibração que inclui as frequências medidas e h a constante de Planck.

Um outro método que pode ser utilizado como realização primária do quilograma é a determinação do número de átomos contidos numa esfera de silício através da equação:

$$m = \frac{8V}{a_0^3} \frac{2R_\infty h}{c\alpha^2} \frac{m_{\text{Si}}}{m_e}$$

⁵⁰ Bryan Kibble.

com a massa m e o volume V da esfera (cerca de 1 kg), o parâmetro de rede α_0 , a constante de Rydberg R_∞ , a constante de estrutura fina α da massa de um átomo de silício (estabelecendo uma média dos três isótopos da esfera) m_{Si} , e da massa de um elétron m_e . A primeira fração corresponde ao número de átomos contidos na esfera, a segunda à massa do elétron e a terceira à razão entre a massa do átomo de silício (média isotópica) e a massa do elétron.

Uma outra possibilidade para medir a massa é com a ajuda de uma nova definição do quilograma, mas desta vez ao nível microscópico, e medindo o recuo atômico usando uma relação que incluía h/m .

Todos estes métodos ilustram na perfeição o caráter geral do novo modo de definir as unidades. O *website* do BIPM contém informações detalhadas sobre as realizações atuais das unidades de base e das outras unidades.

Parte 2. O desenvolvimento histórico do Sistema Internacional

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

- de estudar o estabelecimento de uma regulamentação completa das unidades de medida;
- de realizar para este fim uma consulta oficial sobre a opinião dos meios científicos, técnicos e pedagógicos de todos os países;
- de emitir recomendações para o estabelecimento de *um sistema prático de unidades de medida* adequado suscetível de vir a ser adotado em todos os países signatários da *Convenção do Metro*.

A mesma CGPM adota também a Resolução 7 (CR, 70) que fixa os princípios gerais para a escrita dos símbolos das unidades e fornece uma lista de algumas unidades derivadas coerentes que tenham um nome especial.

A CGPM na 10ª reunião (1954, Resolução 6; CR, 80) adota como grandezas de base e unidades para este prático sistema de unidades as seis grandezas seguintes: comprimento, massa, tempo, corrente elétrica, temperatura termodinâmica e a intensidade luminosa, assim como as seis unidades de base correspondentes: metro, quilograma, segundo, ampere, kelvin e candela. Após longos debates entre físicos e químicos, a CGPM na sua 14ª reunião (1971, Resolução 3, CR 78 e *Metrologia* 1972, **8**, 36) adiciona a quantidade de matéria como a sétima grandeza de base, com a unidade de base o mol.

A CGPM na 11ª reunião (1960, Resolução 12; CR, 87) adota o nome *Sistema internacional de unidades*, com a abreviação internacional *SI*, para este sistema prático de unidades e fixa as regras para os prefixos, as unidades derivadas e as unidades suplementares (entretanto desaparecidas) e outras indicações, estabelecendo assim uma especificação compreensiva para as unidades de medida. Em reuniões posteriores, a CGPM e o CIPM adicionaram e modificaram a estrutura original do SI de modo a considerar os avanços na ciência e a evolução das necessidades dos utilizadores.

É possível resumir as principais etapas históricas que levaram a estas decisões importantes da seguinte forma:

- A criação do Sistema Métrico Decimal durante a Revolução Francesa e o depósito que resultou, em 22 de junho de 1799, de dois padrões de platina representando o metro e o quilograma nos Arquivos da República em Paris, podem ser considerados como a primeira etapa que conduziu ao Sistema Internacional de Unidades atual.
- Em 1832, Gauss trabalhou ativamente na 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 fazer medições absolutas do campo magnético da Terra usando um sistema decimal baseado nas três unidades mecânicas o milímetro, o

grama e o segundo para, respectivamente, as grandezas o comprimento, a massa e o tempo. Mais tarde, Gauss e Weber estenderam essas medições para incluir outros fenômenos elétricos.

- Na década de 1860, Maxwell e Thomson implementaram de forma mais completa essas medidas nas áreas de eletricidade e magnetismo no seio da Associação Britânica para o Avanço da Ciência (BAAS – *British Association for the Advancement of Science*). Eles expressaram 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 tridimensional de unidades coerente baseado nas três unidades mecânicas o centímetro, o grama e o segundo, e usando prefixos que variam de micro a mega para expressar os submúltiplos e os múltiplos decimais. Foi principalmente no uso deste sistema que foi, a seguir, baseado o desenvolvimento experimental das ciências físicas.
- O fato de completar de maneira coerente o sistema CGS para as áreas de eletricidade e magnetismo levou à escolha de unidades de amplitude pouco adaptada à prática. A BAAS e o Congresso Internacional de Eletricidade, que precedeu a Comissão Eletrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission* – IEC), aprovaram, na década de 1880, um sistema mutuamente coerente de *unidades práticas*. Entre elas, havia o ohm para a resistência elétrica, o volt para a força eletromotriz e o ampere para a corrente elétrica.
- Após a assinatura, a 20 de maio de 1875, da Convenção do Metro, que criou o BIPM e estabeleceu a CGPM e o CIPM, fabricaram-se novos protótipos internacionais do metro e do quilograma, que foram aprovados em 1889 na 1ª reunião da CGPM. Com o segundo dos astrônomos como uma unidade de tempo, essas unidades constituíram um sistema tridimensional de unidades mecânicas semelhantes ao sistema CGS, mas cujas unidades de base eram o metro, o quilograma e o segundo, conhecido com o nome de sistema MKS.
- Em 1901, Giorgi mostrou que era possível combinar as unidades mecânicas do sistema MKS com o sistema prático de unidades elétricas para formar um único sistema quadridimensional coerente, adicionando a essas três unidades de base uma quarta unidade, de natureza elétrica, como o ampere ou o ohm, e pela racionalização das equações utilizadas no eletromagnetismo. A proposta de Giorgi abriu caminho para outras extensões.
- Após a revisão da Convenção do Metro na 6ª reunião da CGPM (1921), que estendeu as atribuições e responsabilidades do BIPM a outros domínios da física, e a criação do Comitê Consultivo de Energia Elétrica (*Consultative Committee for Electricity* – CCE) na 7ª reunião da CGPM, que daí resultou em 1927, a proposta de Giorgi foi discutida em detalhes pela IEC, pela União Internacional de Física Pura e Aplicada (*International Union of Pure and Applied Physics* – IUPAP) e por outras organizações internacionais. Essas discussões levaram o CCE a propor, em 1939, a adoção de um sistema quadridimensional baseado no metro, no quilograma, no segundo e no ampere (sistema MKSA), uma proposta que foi aprovada pelo Comitê Internacional em 1946.
- Na sequência de um inquérito internacional realizado pelo BIPM a partir de 1948, a 10ª reunião da CGPM (1954) aprovou a introdução do kelvin e da candela como unidades de base da temperatura termodinâmica e da intensidade luminosa, respectivamente. A 11ª reunião da CGPM (1960) deu o nome de Sistema Internacional de Unidades (SI) a este sistema. Estabeleceram-se regras para os prefixos, as unidades derivadas e as unidades suplementares (desde então, desaparecidas) e bem como outras indicações, estabelecendo assim um regulamento geral para as unidades de medida.
- Na 14ª reunião da CGPM (1971), uma nova unidade de base, o mol, de símbolo mol, foi adotada para a quantidade de matéria. Na sequência de uma proposta feita pela Organização Internacional de Normalização (ISO), emanando, em primeiro lugar, da

Comissão de Símbolos, Unidades e Nomenclatura da União Internacional de Física Pura e Aplicada (IUPAP) e apoiada pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (*International Union for Pure and Applied Chemistry* – IUPAC). O SI assim passou para sete unidades de base.

- Desde então, realizaram-se avanços extraordinários na relação das unidades do SI a grandezas verdadeiramente invariáveis, como as constantes fundamentais da física e as propriedades dos átomos. Reconhecendo a importância de ligar as unidades do SI a tais grandezas invariáveis, a 24ª reunião da CGPM (2011) adotou os princípios de uma nova definição do SI baseado no uso de um conjunto de sete constantes deste tipo como referências das definições das unidades. No momento da 24ª reunião da CGPM, as experiências para determinar dos valores numéricos dessas constantes não permitiam obter resultados completamente coerentes, mas este foi o caso na 26ª reunião da CGPM (2018) e a nova definição do SI foi adotada na Resolução 1. Esta é a base da definição do SI apresentada nesta brochura: constitui a maneira mais simples e fundamental de definir o SI.
- O SI era anteriormente definido em função de sete unidades de base e unidades derivadas definidas como o produto de potências das unidades de base. As sete unidades de base tinham sido escolhidas por razões históricas, em função da evolução do sistema métrico e do desenvolvimento do SI nos últimos 130 anos. A escolha dessas unidades não era a única possível, mas, ao longo dos anos, tornou-se um fato estabelecido e essas unidades tornaram-se familiares, proporcionando não apenas um enquadramento para descrever o SI, mas também para definir as unidades derivadas. O papel das unidades de base permanece o mesmo no SI atual, embora o próprio SI seja definido baseado em sete constantes definidoras. Assim, nesta brochura, as definições das sete unidades de base permanecem presentes, mas são baseadas nas sete constantes definindo o SI, ou seja, a frequência $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ da transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio, a velocidade c da luz no vácuo, a constante de Planck h , a carga elementar e , a constante de Boltzmann k , a constante N_{A} de Avogadro e a eficácia luminosa K_{cd} de uma radiação visível definida.

As definições das sete unidades de base podem ser relacionadas sem ambiguidade aos valores numéricos das sete constantes que definem o SI, mas não há correspondência biunívoca entre as sete constantes e as sete unidades de base porque várias das unidades de base podem ser relacionadas com mais de uma dessas sete constantes.

Parte 3. Perspectiva histórica das unidades de base

Unidade de tempo, segundo

Antes de 1960, a unidade de tempo, o segundo, era definida como a fração $1/86\,400$ do dia solar médio. A definição exata de "dia solar médio" foi deixada para os astrônomos. No entanto, as observações têm mostrado que esta definição é insatisfatória devido às irregularidades na rotação da Terra. Para dar mais exatidão à definição da unidade de tempo, a 11ª reunião da CGPM (1960, Resolução 9; CR, 86) aprovou uma definição, dada pela União Astronômica Internacional, que teve como base o ano tropical 1900. No entanto, a investigação científica experimental já tinha mostrado que um padrão atômico do tempo, baseado numa transição entre dois níveis de energia de um átomo ou de uma molécula, poderia ser realizado e reproduzido com uma exatidão muito maior. Considerando que uma definição de elevada exatidão da unidade de tempo era essencial para a ciência e a tecnologia, a 13ª reunião da CGPM (1967-1968, Resolução 1; CR, 103 e *Metrologia*, 1968, 4, 43) escolheu uma nova definição do segundo baseada na frequência da transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio

133. Uma nova formulação mais exata desta mesma definição, agora baseada num valor numérico fixado da frequência da transição hiperfina do estado fundamental não perturbado do átomo de césio-133, $\Delta\nu_{Cs}$, foi adotada pela 26ª reunião da CGPM (2018), Resolução 1.

Unidade de comprimento, metro

A definição do metro a partir de 1889, nomeadamente o comprimento do protótipo internacional em platina iridiado, foi substituída na 11ª reunião da CGPM (1960), por uma definição baseada no comprimento de onda da radiação correspondente a uma transição particular do cripton 86, a fim de melhorar a exatidão da realização da definição do metro. Essa realização era efetuada por meio de um interferômetro e de um microscópio móvel em translação utilizados para medir a variação de caminhos ópticos contando franjas. Essa definição foi substituída em 1983, na 17ª reunião da CGPM (Resolução 1; CR, 97 e *Metrologia*, 1984, 20, 25), por uma definição baseada no comprimento do caminho atravessado no vácuo pela luz num intervalo de tempo específico. O protótipo internacional do metro original, que foi aprovado na 1ª reunião da CGPM, em 1889 (CR, 34-38), ainda é conservado no BIPM nas condições fixadas em 1889. A fim de evidenciar a dependência da definição do metro com o valor numérico fixado da velocidade da luz, c , a formulação da definição do metro foi alterada na 26ª reunião da CGPM (2018), Resolução 1.

Unidade de massa, kilograma

De acordo com a definição do kilograma de 1889, a unidade de massa era simplesmente igual à massa do protótipo internacional do kilograma, um artefato feito de platina iridiado. Esse protótipo era conservado no BIPM, e ainda é, nas condições estabelecidas na primeira reunião da CGPM, em 1889 (CR, 34-38), quando esta sancionou o protótipo e declarou: "Este protótipo será doravante considerado como a unidade de massa". Quarenta protótipos semelhantes foram fabricados aproximadamente ao mesmo tempo; todos foram trabalhados e polidos para ter a mesma massa que a do protótipo internacional. Durante a primeira reunião da CGPM em 1889, a maior parte desses "padrões nacionais", uma vez calibrados usando o protótipo internacional do kilograma, foram atribuídos aos Estados-Membros do Convenção do Metro e alguns ao BIPM. A 3ª reunião da CGPM, em 1901 (CR, 70), numa declaração com o objetivo de acabar com a ambiguidade da utilização do termo "peso", confirmou que "o kilograma é a unidade da massa; ele é igual à massa do protótipo internacional do kilograma"; a versão completa dessa declaração consta da página 70 dos relatórios (*Comptes Rendus*) da CGPM mencionados anteriormente.

Durante a segunda verificação de protótipos nacionais em 1946, constatou-se que, em média, a massa desses protótipos divergia da do protótipo internacional. O que foi confirmado durante a terceira verificação, realizada de 1989 a 1991, sendo que a diferença média era de cerca de 25 microgramas considerando todos os protótipos originais sancionados na primeira reunião da CGPM (1889). A fim de garantir a estabilidade a longo prazo da unidade de massa, de aproveitar ao máximo os padrões elétricos quânticos e melhor responder à ciência moderna, uma nova definição do kilograma, baseada no valor de uma constante fundamental, a constante de Planck h , foi adotada na 26ª reunião da CGPM (2018), Resolução 1.

Unidade de corrente elétrica, ampere

Unidades elétricas, chamadas "internacionais", para a corrente e 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.

A vontade unânime de substituir essas "unidades internacionais" pelas "unidades absolutas" já

tinha sido expressa na 8ª reunião da CGPM (1933). Todavia, dado que alguns laboratórios ainda não tinham concluído as experiências necessárias para determinar a razão entre as unidades internacionais e as unidades absolutas, a CGPM deu ao CIPM a autoridade de decidir, em tempo oportuno, sobre as razões e a data de adoção dessas novas unidades absolutas. O CIPM decidiu em 1946 (1946, Resolução 2, PV, 20, 129-137) que as novas unidades entrariam em vigor no dia 1 de janeiro de 1948. Em outubro de 1948, na 9ª reunião da CGPM foram aprovadas as decisões tomadas pelo CIPM. A definição do ampere escolhido pelo CIPM foi baseada na força produzida entre dois condutores paralelos percorridos por uma corrente elétrica e, conseqüentemente, fixava o valor da permeabilidade magnética do vácuo μ_0 (ou constante magnética). O valor da permissividade elétrica do vácuo ϵ_0 (ou constante elétrica) foi então fixado devido à adoção da nova definição do metro em 1983.

Todavia, a definição do ampere de 1948 revelou-se difícil de realizar e os padrões quânticos práticos (por efeito Josephson e por efeito Hall quântico), que relacionam o volt e o ohm a combinações particulares da constante de Planck h e da carga elementar e , foram usados quase universalmente como realização prática do ampere usando a lei de Ohm (CGPM, 1987, Resolução 6; CR, 100). Portanto, tornou-se natural não só fixar o valor numérico de h para redefinir o quilograma, mas também para fixar o valor numérico de e para redefinir o ampere para que os padrões elétricos quânticos práticos estejam exatamente de acordo com o SI. A definição atual de ampere baseada num valor numérico fixado da carga elementar, e , foi adotada na 26ª reunião da CGPM (2018), Resolução 1.

Unidade de temperatura termodinâmica, kelvin

A definição da unidade de temperatura termodinâmica foi dada na 10ª reunião da CGPM (1954, Resolução 3; CR, 79) que escolheu o ponto triplo de água, T_{TPW} , como ponto fixo fundamental, dando-lhe a temperatura de 273,16 K por definição. A 13ª reunião da CGPM (1967-1968, Resolução 3; CR, 104 e *Metrologia*, 1968, 4, 43) adotou o nome "kelvin", símbolo K, em vez de "grau kelvin", símbolo °K, para a unidade definida dessa forma. Todavia, as dificuldades práticas associadas à realização dessa definição, que requer uma amostra de água pura com uma composição isotópica bem definida, bem como o desenvolvimento de novos métodos termométricos primários, levaram para a adoção de uma nova definição do kelvin baseada num valor numérico fixado da constante de Boltzmann, k . A definição atual do kelvin, que elimina essas restrições, foi adotada na 26ª reunião da CGPM (2018), Resolução 1.

Unidade de quantidade de matéria, mol

Após a descoberta das leis fundamentais da química, usaram-se, para especificar as quantidades de vários elementos e compostos químicos, por exemplo, unidades com nomes como "átomo-grama" e "molécula-grama". Essas unidades estavam diretamente ligadas aos "pesos atômicos" e "pesos moleculares" que eram, na realidade, massas atômicas e moleculares relativas. Os "pesos atômicos" foram desde o início relacionados com o do elemento químico oxigênio, tomado por convenção igual a 16. Enquanto os físicos separavam os isótopos com o espectrômetro de massa e atribuíam o valor 16 a um dos isótopos do oxigênio, os químicos davam o mesmo valor (ligeiramente variável na composição) à mistura dos isótopos 16, 17 e 18 que constituem o elemento oxigênio natural. Um acordo entre a União Internacional de Física Pura e Aplicada (*International Union of Pure and Applied Physics* – IUPAP) e a União Internacional de Química Pura e Aplicada (*International Union of Pure and Applied Chemistry* – IUPAC) acabou com essa dualidade em 1959/60. Físicos e químicos concordaram em atribuir o valor 12, exatamente, ao "peso atômico" do isótopo 12 do carbono (carbono 12, ^{12}C), ou, de acordo com uma formulação mais correta, para a massa atômica relativa A_r do isótopo 12 do carbono. A escala unificada assim obtida fornece os valores das massas atômicas e moleculares relativas, também conhecido como pesos atômicos e moleculares, respectivamente. Este acordo permaneceu em vigor até a redefinição do SI em 2018.

A grandeza usada pelos químicos para especificar a quantidade de elementos ou compostos químicos é chamada de "quantidade de matéria"). A quantidade de matéria, símbolo n , é definida como sendo proporcional ao número de entidades elementares N de uma amostra, a constante de proporcionalidade sendo uma constante universal idêntica para todas as entidades. A constante de proporcionalidade é o inverso da constante de Avogadro, N_A , de modo que $n = N/N_A$. A unidade de quantidade de matéria é chamada de mol, símbolo mol.

Seguindo as propostas da IUPAP, da IUPAC e da ISO, o CIPM deu uma definição da mol em 1967 que confirmou em 1969: a massa molar do carbono 12 tinha que ser exatamente 0,012 kg/mol. Isso permitia determinar diretamente a quantidade de matéria $n_s(X)$ de qualquer amostra pura S de uma entidade X a partir da massa da amostra m_s e da massa molar $M(X)$ da entidade X , sendo a massa molar determinada a partir da respectiva massa atômica relativa A_r (peso atômico ou molecular) sem ser preciso conhecer exatamente a constante de Avogadro, usando as relações

$$n_s(X) = m_s/M(X), \text{ e } M(X) = A_r(X) \text{ g/mol}$$

Assim, a definição do mol dependia da definição do kilograma baseada num artefato.

O valor numérico da constante de Avogadro assim definida era igual ao número de átomos em 12 gramas de carbono 12. Todavia, devido aos avanços tecnológicos recentes, este número é agora conhecido com uma tal exatidão que uma definição mais simples e mais universal do mol tornou-se possível, ou seja, uma definição indicando exatamente o número de entidades num mol de um material seja o que for, o que fixa o valor numérico da constante de Avogadro. Portanto, esta nova definição do mol e do valor da constante de Avogadro não é mais dependente da definição do kilograma. Além disso, sublinha a distinção entre as grandezas fundamentalmente diferentes "quantidade de matéria" e "massa". A atual definição do mol baseada num valor numérico fixado da constante de Avogadro, N_A , foi adotado na 26ª reunião da CGPM (2018), Resolução 1.

Unidade de intensidade de luz, a candela

As unidades de intensidade luminosa baseadas em padrões de chama ou de filamento incandescente, que estavam em uso em vários países antes de 1948, foram as primeiras substituídas pela "nova vela" baseada na luminância do radiador de Planck (corpo negro) na temperatura de solidificação da platina. Esta modificação tinha sido preparada antes de 1937 pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) e pelo CIPM; a decisão foi tomada pelo CIPM em 1946. Foi homologada em 1948 na 9ª reunião da CGPM, que adotou para esta unidade um novo nome internacional, a candela, símbolo de cd; em 1954, a 10ª reunião da CGPM estabeleceu a candela como unidade de base; em 1967, a 13ª reunião da CGPM (Resolução 5; CR, 104 e *Metrologia*, 1968, 4, 43-44) mudou a definição de 1946.

Em 1979, devido às dificuldades experimentais relacionadas à realização do radiador de Planck em altas temperaturas e às novas possibilidades oferecidas pela radiometria, ou seja, a medição da potência da radiação óptica, a 16ª CGPM (1979, Resolução 3; CR, 100 e *Metrologia*, 1980, 16, 56) adotou uma nova definição da candela.

A definição atual de candela, baseada num valor numérico fixado de eficácia luminosa de uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz, K_{cd} , foi adotada na 26ª reunião da CGPM (2018), Resolução 1.

Lista de acrônimos utilizados

1 Acrônimos para laboratórios, comitês e conferências

BAAS	British Association for the Advancement of Science / Associação Britânica para Avanço da Ciência
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures / International Bureau of Weights and Measures / <i>Bureau</i> Internacional de Pesos e Medidas
CARICOM	Caribbean Community / Communauté des Caraïbes / Comunidade do Caribe
CCAUV	Comité Consultatif de l'Acoustique, des Ultrasons et des Vibrations / Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration / Comitê Consultivo para Acústica, Ultrassom e Vibração
CCDS	Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde / Consultative Committee for the Definition of the Second / Comitê Consultivo para a Definição do Segundo, ver CCTF
CCE	Comité Consultatif d'Électricité / Consultative Committee for Electricity, see CCEM / Comitê Consultivo para Eletricidade, ver CCEM
CCEM	Comité Consultatif d'Électricité et Magnétisme / Consultative Committee for Electricity and Magnetism / Comitê Consultivo para Eletricidade e Magnetismo (inicialmente CCE)
CCL	Comité Consultatif des Longueurs / Consultative Committee for Length / Comitê Consultivo para Comprimento
CCM	Comité Consultatif pour la Masse et les Grandeurs Apparentées / Consultative Committee for Mass and Related Quantities / Comitê Consultivo para Massas e Grandezas Relacionadas
CCPR	Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie / Consultative Committee for Photometry and Radiometry / Comitê Consultivo para Fotometria e Radiometria
CCQM	Comité Consultatif pour la Quantité de Matière : Métrologie en Chimie et Biologie / Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology / Comitê Consultivo para Quantidade de Matéria: Metrologia em Química e Biologia
CCRI	Comité Consultatif des Rayonnements Ionisants / Consultative Committee for Ionizing Radiation / Comitê Consultivo para Radiações Ionizantes
CCT	Comité Consultatif de Thermométrie / Consultative Committee for Thermometry / Comitê Consultivo para Termometria
CCTF	Comité consultatif du temps et des fréquences / Consultative Committee for Time and Frequency / (inicialmente CCDS) Comitê do Tempo e Frequência
CCU	Comité Consultatif des Unités / Consultative Committee for Units / Comitê para Unidades

CGPM	Conférence Générale des Poids et Mesures / General Conference on Weights and Measures / Conferência Geral de Pesos e Medidas
CIPM	Comité International des Poids et Mesures / International Committee for Weights and Measures / Comitê Internacional de Pesos e Medidas
CODATA	Committee on Data for Science and Technology / Comitê de Dados para Ciência e Tecnologia
CR	<i>Comptes Rendus</i> of the Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM
IAU	International Astronomical Union / União Astronômica Internacional
ICRP	International Commission on Radiological Protection / Comissão Internacional de Proteção Radiológica
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements / Comissão Internacional de Unidades e Medições das Radiações
IEC	International Electrotechnical Commission / Comissão Eletrotécnica Internacional
IERS	International Earth Rotation and Reference Systems Service / Sistemas de Referência Internacional de Rotação da Terra
ISO	International Organization for Standardization / Organização Internacional de Normalização
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry / União Internacional de Química Pura e Aplicada
IUPAP	International Union of Pure and Applied Physics / União Internacional de Física Pura e Aplicada
OIML	Organisation Internationale de Métrologie Légale / International Organization of Legal Metrology / Organização Internacional de Metrologia Legal
PV	<i>Procès-Verbaux</i> of the Comité International des Poids et Mesures, CIPM
SUNAMCO	Commission for Symbols, Units, Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, IUPAP / Comissão para Símbolos, Unidades, Nomenclatura, Massas Atômicas e Constantes Fundamentais
WHO	World Health Organization / Organização Mundial da Saúde (OMS)

2 Acrônimos para termos científicos

CGS	Système d'unités cohérent fondé sur les trois unités mécaniques centimètre, gramme et seconde / Three-dimensional coherent system of units based on the three mechanical units centimetre, gram and second / Sistema coerente tridimensional de unidades baseado nas três unidades da mecânica centímetro, grama e segundo
EIPT-68	Échelle internationale pratique de température de 1968 / Practical international temperature scale of 1968 / Escala Prática Internacional de Temperatura de 1968
EIT-90	Échelle internationale de température de 1990 / International temperature scale of 1990 / Escala Internacional de Temperatura de 1990

EPT-76	Échelle provisoire de température de 1976 / Provisional Low Temperature Scale of 1976 / Escala Provisória de Temperatura de 1976
GUM	Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure / Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement / Guia para a expressão da incerteza de medição
ITS-90	International Temperature Scale of 1990 / Escala Internacional de Temperatura de 1990, ver EIT-90
MKS	Système d'unités fondé sur les trois unités mécaniques mètre, kilogramme et seconde / System of units based on the three mechanical units metre, kilogram, and second / Sistema de unidades baseado nas três unidades da mecânica metro, kilograma e segundo
MKSA	Système d'unités quadri-dimensionnel fondé sur le mètre, le kilogramme, la seconde et l'ampère / Four-dimensional system of units based on the metre, kilogram, second, and the ampere / Sistema de unidades a quatro dimensões baseado no metro, kilograma, segundo e ampere
SI	Système international d'unités / International System of Units / Sistema Internacional de Unidades
TAI	Temps Atomique International / International Atomic Time / Tempo Atômico Internacional
TCG	Temps-Coordonnée Géocentrique / Geocentric Coordinated Time / Tempo Coordenado Geocêntrico
TT	Temps Terrestre / Terrestrial Time / Tempo Terrestre
UTC	Temps Universel Coordonnée / Coordinated Universal Time / Tempo Universal Coordenado
VSMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water / Padrão de Viena da Água Média do Oceano.

Índice remissivo

A

aceleração devido à gravidade, valor padrão de (g_n), 21, 30, 36, 98

agrupamento de dígitos, 71

água, composição isotópica, 32, 49, 72, 76, 80, 103

ampere (A), 2, 4, 6, 8, 16-17, 31, 37-38, 40-41, 44, 46, 64, 77-84, 88, 91-94, 97, 99-100, 102-103, 107

ângulo, xiii, 12-14, 21, 26, 28, 37, 44, 57

arcossegundo, 21

Associação Britânica para o Avanço da Ciência (BAAS), 100, 105

atividade de radionuclídeo, 47-48

atmosfera padrão, 32, 41

átomo-grama, 103

B

balança de Kibble, 98

balança de watt, ver balança de Kibble, 98

bar, 40, 102

becquerel (Bq), 14, 17, 47, 54

bel (B), 22

C

caloria, 38, 40

candela (cd), 2, 4, 6, 10-11, 17, 33, 37, 40-41, 44-45, 50, 55-56, 64, 76, 79, 81-83, 91-92, 94, 97, 99-100, 104

capacidade térmica, 15-16, 24

carbono 10, 22, 53, 83, 93, 103, 104

carga elementar, 4, 5, 8, 80-82, 87, 91, 94, 101, 103

CGS, 39, 100

CODATA, 22, 81, 84, 87, 92, 106

comprimento, i, vii, 3, 6-7, 11-12, 14, 21, 27-28, 35-37, 41, 43, 54, 57-59, 66-68, 75, 79, 83, 87, 93, 97-100, 102

constante de Avogadro, 4-5, 9-10, 77, 80-81, 87, 91, 94, 103-104

constante de Boltzmann, 4-5, 8, 77, 80-81, 87, 91, 93, 98, 101, 103

constante de Josephson (K_J , K_{J-90}), 32, 61, 83, 92

constante de Planck, ix, 4-5, 7-8, 77, 79-81, 87, 91, 93, 98, 101-103

constante de Rydberg, 99
constante de von Klitzing (R_K , R_{K-90}), 32, 62, 83, 92
constante de estrutura fina, 5, 83, 92, 99
constante magnética, permeabilidade do vácuo, 8, 83, 103
constantes definidoras, iii, ix, xii, 1-6, 11, 13, 92, 98, 101
constantes fundamentais (da física), iii, ix, 4, 65, 68, 77-78, 80-81, 84, 88, 91, 101
contagem, 5, 12, 17, 27
continuidade, ix, 4, 29, 55, 62, 87
Convenção do Metro, iii, vi, xiii, ix, xii, 1, 35, 39, 42, 99-100, 102, 109
corrente elétrica, 8, 11, 16, 37-38, 41, 44, 82, 87, 94, 97-100, 102-103
coulomb (C), 4, 13, 16, 38, 40, 45, 81, 91, 109
curie (Ci), 33, 47-48

D

dalton (Da), 22
dia (d), 21, 101
decibel (dB), 21-22
definição das unidades de base, 6-11
definição de constante explícita, 82
definição de unidade explícita, 82
dígitos em grupos de três, 26, 40
dimensão (de uma grandeza), 12, 17
dina, 41
dose absorvida, 14, 16-18, 33, 54, 56, 59, 69

E

efeito Hall quântico, 60, 62, 80, 103
efeito Josephson, 60-61, 80, 103
eficácia luminosa, 4-5, 10, 55, 81-82, 91, 94, 101, 104
elétron-volt (eV), 22
equivalente de dose, ver sievert
erg, 56
escala de temperatura termodinâmica, 40-41
Escala Internacional de Temperatura de 1990
(ITS-90), 9, 32, 50, 62, 106-107
escotópica(s), 55-56
escrita do valor de uma grandeza, 26
esfera de silício, 98

esferorradiano (sr), 11-14, 16, 28, 37, 44, 51, 56-57, 63-64

estabelecimento do SI, 30, 42, 43

F

farad (F), 13, 16, 38, 40, 45,

frequência da transição hiperfina do átomo de césio, 4-7, 31, 80, 82, 89, 91, 93, 101

G

gal (Gal), 21

Gauss, 99-100

Giorgi, 100

grama, 20, 40, 48, 100, 104, 106

grandeza, 3, 5, 11-12, 16-18, 22, 24-28, 36, 59, 69, 70, 97-99, 103

grandeza, base, 6, 11-12, 16, 57, 99

grandeza, derivada, 6, 10, 12, 14, 16

grandezas adimensionais, 57

grandezas de contagem, 12, 27

grandezas de razão logarítmica, 21

grandezas fotobiológicas, x, 13, 18, 96

grandezas fotométricas, 56, 110

grau Celsius (°C), 9, 13-14, 17, 24, 26, 32, 39, 40, 49

gray (Gy), 14, 16-17, 33, 54, 59, 69

H

hectare (ha), 21

henry (H), 8, 14, 16, 38, 40, 45

hertz (Hz), 4-5, 13-14, 17, 40, 45-46, 55-56, 80-82, 110

hora (h), 3, 21, 40, 42-43

I

incerteza(s), xii, 3-5, 7-10, 27, 53-54, 58, 61-62, 64, 66-67, 70, 73-74, 78-80, 83-86, 88-90, 92-93, 107

intensidade luminosa, 6, 10-12, 37, 41, 44, 50, 55-56, 82, 87, 94, 99-100, 104

(série) ISO/IEC 80000, 2, 6, 17, 24, 98, 110

ISO/TC 12, 57

IUPAC, 71, 101, 103-104, 106; Green Book, 24

IUPAP SUNAMCO, 24; Red Book, 110

J

jarda, 22

joule (J), 4-5, 13, 15-17, 37-39, 45, 50, 54-59, 59, 80-81, 91

K

katal (kat), 14, 16, 32, 64-65

kelvin (K), 1, 4-6, 8-9, 14-16, 32, 38, 40-41, 44, 49-50, 62, 71-72, 75-78, 80-84, 87, 90-93, 97-100, 103

kilograma, iii, iv, 1, 4, 6-8, 15-17, 20-21, 27, 31, 33, 35-37, 41, 43, 45, 48, 50, 53-56, 64, 69, 76-84, 87, 90-94, 97-100, 102-105, 107

L

legislação das unidades, 2

litro (L ou l), 21-23, 33-34, 36, 40, 46-47, 56-57

lúmen (lm), 4, 17, 32, 37, 40, 45, 81-82, 91

lux (lx), 17

M

massa, iii, vii, 1, 6-8, 11, 15, 17, 20-22, 26-27, 30-31, 35-37, 41, 43, 48, 64, 77, 79-84, 87, 92-93, 97-100, 102-105

massa do elétron, 99

massa e peso, 31

massa molar, 10, 83, 93, 104

Maxwell, 100

mesópico, 56

metro (m), iii, iv, xi, 1-2, 4, 6-8, 10, 15-16, 18, 24, 30-31, 35-37, 40-43, 45, 50, 52, 58-59, 66, 73-75, 78-79, 82, 84-85, 88, 92, 94, 97-100, 102-103

microarcossegundo (μ s), 21

miliarcossegundo (mas), 21

minuto (min), 312, 26

mol (mol), 3-4, 9-10, 14, 16, 53, 64-65, 71-72, 76-77, 79-83, 87, 92-93, 97, 104

molécula-grama, 103

múltiplos (e submúltiplos) do kilograma, 20

múltiplos, prefixos para, iii, v, 19-20

N

neper (Np), 22

newton (N), 8, 13-15, 17, 20, 37, 40-41, 45, 50-52

nomes de unidades, iv, 23-24

nomes especiais e símbolos para unidades, 13, 16-17, 33, 52, 56, 59, 65, 69

notas históricas, 13, 97

novo lúmen, 32, 37

número de Avogadro, 9, 94

O

ohm (Ω), 31, 38, 40, 45, 60-62, 83, 92, 100, 102-103

OIML, 2, 84, 88, 106

OMS, 18, 107

P

padrões quânticos, padrões elétricos quânticos, 102-103

pascal (Pa), 13, 15, 52

pé, 22

percentagem, 28

peso atômico, 103-104

peso molecular, 104

poise (P), 40

polegada, 22

ponto triplo da água, 1, 9, 32, 38, 40, 50, 71, 75-76, 83, 93, 97-98

ppb, 28

ppm, 28

ppt, 28

prefixos do SI, 14, 43, 51, 55, 63

protótipo internacional do quilograma, 1, 8, 36, 76, 79, 82-84, 92, 102

protótipo internacional do metro, 102

Q

quantidade de matéria, vii, 5-6, 9-10, 12, 15, 28, 32, 53, 80-81, 87, 93-94, 99-100, 103-105

química clínica, 10, 65

R

radiação ionizante, vii, 54

radiano (rad), iv, 12-15, 17, 28, 44-45, 57, 63-64

realização prática (de uma unidade), x, xii, xiii, 11, 18, 30, 58-59, 66-67, 73, 85, 88, 95, 103

relatividade, xii, 7, 18, 66, 68

S

segundo (s), ix, 3, 6-8, 10-11, 15-17, 21, 24, 31, 36-38, 40-43, 45, 47-49, 51-54, 59, 64-65, 68, 73, 75, 78-83, 85-86, 88-89, 91-94, 97-101, 105-107

separador decimal, xi, xii, 26, 33, 70-71

SI, ver Sistema Internacional de Unidades (SI)

siemens (S), 31, 52

sievert (Sv), 14, 17, 33, 56, 59, 68-69

símbolos das grandezas, xii, xiii, 6, 24-25, 27

símbolos de unidades, iii, 4, 6-7, 11-12, 14-16, 19-29, 33-34, 39-40, 42, 49, 56-57, 64, 81, 92, 99-100, 106

símbolos recomendados para grandezas, 130, 136

Sistema Internacional de Unidades (SI), i, ii, iii, vi, viii, ix, x, xii, xiii, 1, 3-4, 30-33, 42-43, 47, 49, 51-54, 56-57, 63-65, 68, 70, 76, 79-80, 87, 90-91, 97, 99-100, 107

sistema métrico, 3, 6, 9, 36, 97, 99, 101

sistema métrico decimal, 3, 99

sistema MKS, 37, 39, 100

sistema MKSA, 100

som, unidades para, 18

stilb (sb), 40

submúltiplos, prefixos, iii, iv, xii, 13-14, 19-20, 44, 48, 51, 63, 65, 100, 111

T

TAI, ver Tempo Atômico Internacional

tesla (T), 14, 45

temperatura Celsius, 9, 13-14, 26, 32

temperatura termodinâmica, 6, 8-9, 11, 17, 32, 40-41, 43-44, 49-50, 71, 75, 81, 83, 87, 93, 98-100, 103

tempo (duração), 7, 49, 75, 113

Tempo Atômico Internacional (TAI), 52-54

Tempo Universal Coordenado (UTC), 3

Thomson, 100

tonelada, 21-22, 40

tonelada métrica, 22

U

unidades absolutas, 102

unidade astronômica, 21

unidade (s) de base, iii, ix, xii, xiii, 1-2, 6, 13-15, 30-32, 42, 44, 51, 57, 63-65, 76-77, 79, 81-82, 84, 91-93, 97, 101

unidade(s) derivada(s), 1-2, 6, 8, 12-15, 17, 28, 30, 33, 44-45, 50-51, 57-58, 63-65, 99-101

unidades derivadas coerentes, 8, 13-15, 65, 99

unidades elétricas, ix, 31, 37, 60, 79, 100, 102

unidades fotométricas, 32, 37, 50

Unidade Internacional (IU) WHO, 106

unidades não-SI, xii, 21-22

unidades para grandezas fotobiológicas, 10, 13, 18, 96

unidades práticas, 100

unidade (SI), ix, xii, 1-3, 6, 11, 13, 17-19, 21-24, 30, 34, 46, 51, 65, 77, 79-80, 82, 87, 97, 101

unidades suplementares, 28, 30, 33, 44, 51, 57, 63-64, 99-100

UTC, ver Tempo Universal Coordenado

V

valor de uma grandeza, xii, 3, 25-27, 70

valor numérico de uma grandeza, xii, 24-25

velocidade da luz no vácuo, 3-5, 7, 66, 79-80, 82, 91, 93

verificação do quilograma, 102

visão fotópica, 55

viscosidade dinâmica (poise), 15, 45

viscosidade cinemática (stokes), 45

volt (V), 13, 16-17, 22, 31, 37-38, 40, 45, 60-61, 83, 92, 100, 103

W

watt (W), 4, 13, 15-16, 37, 40, 45, 50-51, 55-56, 79, 81-82, 91, 98, 108

weber (Wb), 14, 38, 45, 100, 108

WHO, 106

