

# O Sistema Internacional de Unidades

## Suplemento 2014: Atualizações para a 1ª Edição Brasileira (2012) referente a 8ª Edição do BIPM (2006) da Brochura SI

### Comissão Permanente de Atualização do SI

Designada pelo Presidente do Inmetro, João Alziro Herz da Jornada na Portaria nº 156 de 26/03/2013.

Coordenador:

**Paulo Roberto da Fonseca Santos** - Dimci/Dicep

Equipe:

**Marcos José Hoffmann de Senna** - Dimel/Dimep

**José Carlos Valente de Oliveira** - Dimci/Dimec

**Sérgio Pinheiro de Oliveira** - Dimci/Dimec/Lafor

Equipe convidada pelo coordenador:

**Antonio Carlos Baratto** - Dimci/Dmtic

**Carla Thereza Coelho** - Dimci/Diopt

**Gelson Martins Rocha** - Dimci

**Iakyrá B. Couceiro** - Dimci/Diopt

**Renato Nunes Teixeira** - Dimci/Diter

1ª Edição

Rio de Janeiro

2014

# O Sistema Internacional de Unidades

## Suplemento 2014

Atualizações para a 8ª Edição do BIPM (2006) da Brochura SI

### Preâmbulo

Este documento apresenta a lista das mudanças mais significativas a serem feitas na 8ª edição da Brochura SI publicada em 2006. Elas se baseiam nas recomendações feitas pelo Comitê Consultivo de Unidades (CCU) em suas 19ª, 20ª e 21ª reuniões e aprovadas pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), na 103ª reunião em março de 2014. A intenção não é realizar uma revisão abrangente do texto completo, mas atualizar os itens mais importantes, a fim de harmonizá-los com as recomendações mais recentes e atualizar as referências a outros documentos. Ele inclui a nova definição da unidade astronômica para comprimento adotada em 2012 pela XXVIII Assembleia Geral da União Astronômica Internacional – UAI (*International Astronomical Union- IAU*).

### MODIFICAÇÃO DA ORDEM DAS UNIDADES DE BASE NA EXPRESSÃO DAS UNIDADES DERIVADAS

Esta modificação decorre da decisão CIPM/103-17 adotada na primeira Sessão da 103ª reunião do CIPM em março de 2014 (ver também as páginas 16 e 17 do Relatório da 21ª reunião do CCU, 2013).

### **página 23**

#### **2.1.1 Definições**

Na quarta linha do terceiro parágrafo, a expressão do ohm, símbolo  $\Omega$ , em função das unidades de base, deve ser escrita como:

$$\Omega = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-2}$$

## página 30

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

A tabela 3 deve ser modificada como:

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

- (a) Os prefixos SI podem ser usados com quaisquer nomes e símbolos especiais, porém nesses casos a unidade resultante não é mais uma unidade coerente.
- (b) O radiano e o esferorradiano são nomes especiais para o número um que podem ser utilizados para transmitir informações sobre a grandeza envolvida. Na prática, os símbolos rad e sr são utilizados onde apropriado, porém o símbolo para a unidade derivada “um” é geralmente omitido quando se especificam valores de grandezas adimensionais.
- (c) Em fotometria, mantém-se, geralmente, o nome e o símbolo do esferorradiano, sr, na expressão das unidades.
- (d) O hertz é utilizado somente para fenômenos periódicos, ao passo que o becquerel é usado para processos estocásticos relacionados à medição da atividade de um radionuclídeo.
- (e) O grau Celsius é o nome especial para o kelvin empregado para expressar temperaturas Celsius. O grau Celsius e o kelvin são iguais em magnitude, de modo que o valor numérico de uma diferença de temperatura ou de um intervalo de temperatura é o mesmo quando expresso em graus Celsius ou em kelvins.
- (f) A atividade de um radionuclídeo é, às vezes, incorretamente chamada de radioatividade.
- (g) Ver a recomendação 2 do CIPM (CI-2002), pág. 81, sobre a utilização do sievert (PV, 2002, **70**, 102, 205).

## página 31

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

A tabela 4 deve ser modificada como:

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

## MODIFICAÇÃO DA DEFINIÇÃO DA UNIDADE ASTRONÔMICA DE COMPRIMENTO

À época da publicação da 8ª edição da Brochura do SI, o valor da unidade astronômica de comprimento, em unidades do SI, era determinado experimentalmente. Consequentemente, seu valor, bem como sua incerteza experimental, foram inseridos na Tabela 7 da Brochura do SI. Em 2012, esta unidade foi redefinida pela XXVIII Assembleia Geral da União Astronômica Internacional (Resolução B2 da UAI, 2012) como sendo um número exato de vezes a unidade de base de comprimento, o metro. Assim, resultou que a unidade astronômica de comprimento não mais deve aparecer na Tabela 7 da Brochura do SI, mas na Tabela 6.

## página 37

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

A tabela 6 deve ser modificada como:

Grandeza	Nome da unidade	Símbolo da unidade	Valor em unidades SI
tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora <sup>(a)</sup>	h	1 h = 60 min = 3600 s
	dia	d	1 d = 24 h = 86 400 s
ângulo plano	grau <sup>(b, c)</sup>	°	1° = ( $\pi/180$ ) rad
	minuto	'	1' = (1/60)° = ( $\pi/10\ 800$ ) rad
	segundo <sup>(d)</sup>	"	1" = (1/60)' = ( $\pi/648\ 000$ ) rad
área, superfície	hectare <sup>(e)</sup>	ha	1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
volume	litro <sup>(f)</sup>	L, l	1 L = 1 l = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
massa	tonelada <sup>(g)</sup>	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
comprimento	unidade astronômica <sup>(h)</sup>	au	1 au = 149 597 870 700 m

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

(b) A norma ISO 80000-3:2006 recomenda que o grau seja subdividido de maneira decimal, ao invés de se utilizar o minuto e o segundo. Todavia, para a navegação e a topografia, a vantagem em se utilizar o minuto se deve ao fato de que um minuto de latitude na superfície da Terra corresponde (aproximadamente) a uma milha náutica (definida na Tabela 8).

(c) O gon, às vezes chamado de grado, é uma unidade de ângulo plano definida como sendo igual a ( $\pi/200$ ) rad. Assim, um ângulo reto compreende 100 gons ou 100 grados. O gon ou o grado pode ser útil no campo da navegação, porque a distância entre o polo e o Equador, na superfície da Terra, é igual a, aproximadamente, 10 000 km; 1 km na superfície da Terra subtende, então, um ângulo de um centigon ou de um centigrado relativamente ao centro da Terra. O gon e o grado são, todavia, muito raramente utilizados.

(d) Em astronomia, os ângulos pequenos são medidos em arcossegundos (isto é, em segundos de ângulo plano), cujo símbolo é as ou ''; também são usados miliarcossegundos, microarcossegundos e picoarcossegundos (cujos símbolos são, respectivamente, mas,  $\mu$ as e pas). O arcossegundo é um nome alternativo para o segundo de ângulo plano.

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

(f) O litro e seu símbolo l (letra ele minúscula) foram adotados pelo CIPM em 1879 (PV, 1879, 41). O símbolo alternativo L (ele maiúsculo) foi adotado pela 16ª CGPM (1979, Resolução 6; CR, 101 e *Metrologia*, 1980, **16**, 56-57) para evitar o risco de confusão entre a letra l (ele) e o numeral 1 (um). O litro é um nome especial para o dm<sup>3</sup>.

(g) A tonelada e seu símbolo t foram adotados pelo CIPM em 1879 (PV, 1879, 41). Nos países de língua inglesa, essa unidade é normalmente chamada de "tonelada métrica" (em inglês *metric ton*).

(h) A unidade astronômica de comprimento foi redefinida pela XXVIII Assembleia Geral da União Astronômica Internacional (Resolução B2 da UAI, 2012).

## página 39

**Tabela 7 - Unidades fora do SI, cujos valores em unidades SI devem ser determinados experimentalmente (excetuada a unidade natural de velocidade)**

A tabela 7 deve ser modificada como:

Grandeza	Nome da unidade	Símbolo da unidade	Valor em unidades SI <sup>(a)</sup>
<b>Unidades em uso com o SI</b>			
energia	elétron-volt <sup>(b)</sup>	eV	1 eV = 1,602 176 565(35) x 10 <sup>-19</sup> J
massa	dalton, <sup>(c)</sup>	Da	1 Da = 1,660 538 921(73) x 10 <sup>-27</sup> kg
	unidade de massa atômica unificada	u	1 u = 1 Da
<b>Unidades naturais</b>			
velocidade	unidade natural de velocidade (velocidade da luz no vácuo)	$c_0$	299 792 458 m/s (exato)
ação	unidade natural de ação (constante de Planck reduzida)	$\hbar$	1,054 571 726(47) x 10 <sup>-34</sup> J s
massa	unidade natural de massa (massa do elétron)	$m_e$	9,109 382 91(40) x 10 <sup>-31</sup> kg
tempo	unidade natural de tempo	$\hbar / (m_e c_0^2)$	1,288 088 668 33(83) x 10 <sup>-21</sup> s
<b>Unidades atômicas</b>			
carga	unidade atômica de carga (carga elétrica elementar)	$e$	1,602 176 565 (35) x 10 <sup>-19</sup> C
massa	unidade atômica de massa (massa do elétron)	$m_e$	9,109 382 91(40) x 10 <sup>-31</sup> kg
ação	unidade atômica de ação (constante de Plank reduzida)	$\hbar$	1,054 571 726(47) x 10 <sup>-34</sup> Js
comprimento	unidade atômica de comprimento, bohr (raio de Bohr)	$a_0$	0,529 177 210 92(17) x 10 <sup>-10</sup> m
energia	unidade atômica de energia, hartree (energia de Hartree)	$E_h$	4,359 744 34(19) x 10 <sup>-18</sup> J
tempo	unidade atômica de tempo	$\hbar / E_h$	2,418 884 326 502(12) x 10 <sup>-17</sup> s

(a) Os valores em unidades SI de todas as unidades nesta tabela provêm da lista de valores das constantes fundamentais recomendados pelo CODATA, em 2010, publicados por P. J. Mohr, B. N. Taylor e D. B. Newell, *Rev. Mod. Phys.*; 2012, **84**, 1527-1605. A incerteza-padrão nos dois últimos algarismos é fornecida entre parênteses (ver 5.3.5, pág. 47).

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

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

**ATUALIZAÇÃO DE REFERÊNCIAS PARA NORMAS E GUIAS****página 16****1.2 O Sistema Internacional de Unidades (SI) e o sistema de grandezas correspondente**

Após a atualização das normas ISO e IEC mencionadas no segundo parágrafo, este deve ser modificado como:

O sistema de grandezas em uso com o SI, incluindo as equações que relacionam as grandezas entre si, corresponde de fato às grandezas e equações da física, bem conhecidas de todos os cientistas, técnicos e engenheiros. Elas aparecem em todos os manuais e em várias publicações de referência, mas frequentemente constituem apenas uma seleção dentre todas as grandezas e equações existentes, que são em número ilimitado. Um grande número de grandezas, seus nomes e símbolos recomendados e as equações que relacionam umas às outras são mencionadas na Norma Internacional 80000 da ISO e IEC, *Grandezas e unidades*, composta de 14 partes e elaborada pelo Comitê Técnico 12 da Organização Internacional de Normalização, ISO/TC 12 e pelo Comitê Técnico 25 da Comissão Eletrotécnica Internacional, IEC/TC 25. Na série 80000 da ISO e IEC, as grandezas e equações utilizadas com o SI são designadas pelo nome de Sistema Internacional de Grandezas.

**página 44****5.3.1 Valor e valor numérico de uma grandeza; utilização do cálculo formal**

Após a atualização da ISO e IEC, o terceiro parágrafo este deve ser modificado como:

Os nomes e símbolos recomendados para as grandezas estão listados em muitas referências tais como as normas ISO e IEC da série 80000 *Grandezas e Unidades*, o “Livro Vermelho” da IUPAP *SUNAMCO Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics* e o “Livro Verde” da IUPAC *Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry*. Contudo, os símbolos para as grandezas são apenas recomendações, em contraste com os símbolos das unidades para os quais é obrigatório o emprego da forma correta. Em circunstâncias especiais, os autores podem preferir usar um símbolo de sua própria escolha para uma grandeza, por exemplo, para evitar o conflito que resultaria da utilização do mesmo símbolo para duas grandezas diferentes. Em tais casos é necessário deixar claro o significado do símbolo. Entretanto, nem o nome de uma grandeza, nem o símbolo usado para denotá-la devem implicar uma escolha particular da unidade.

## página 47

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

Na sequência de atualizações do GUM, e utilizando valores do CODATA 2010, o item 5.3.5 deve ser modificado como:

A incerteza associada ao valor estimado de uma grandeza deve ser avaliada e expressa de acordo com o Guia JCGM 100:2008 (GUM 1995 com pequenas correções), *Avaliação de dados de medição - Guia para expressão de incerteza de medição*. A incerteza-padrão, isto é, o desvio-padrão estimado, associada a uma grandeza  $x$  é denotada por  $u(x)$ . Uma maneira conveniente de representar a incerteza é dada no exemplo:

$$m_n = 1,674\,927\,351(74) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

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

$$u(m_n) = 0,000\,000\,074 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

Se uma incerteza expandida  $U(x)$  for empregada no lugar da incerteza-padrão  $u(x)$ , então o fator de abrangência  $k$  deve ser declarado.

## página 49

## Anexo 1. Decisões da CGPM e do CIPM

Desde a publicação da 8ª edição da Brochura do SI em 2006, a CGPM e o CIPM tomaram as seguintes decisões em relação às unidades SI:

- 1) CIPM de 2006, Recomendação 1, Sobre as representações secundárias do segundo (<http://www.bipm.org/utis/fr/pdf/CI-2006-1-FR.pdf>, página 123/<http://www.bipm.org/utis/en/pdf/CI-2006-1-EN.pdf>, página 249).
- 2) CIPM de 2007, Recomendação 1, Revisão da lista das radiações recomendadas para a implementação da definição do metro (<http://www.bipm.org/utis/fr/pdf/CI-2007-1-FR.pdf>, página 85 / <http://www.bipm.org/utis/en/pdf/CI-2007-1-EN.pdf>, página 185).
- 3) 23ª CGPM de 2007, Resolução 9, Sobre a revisão da realização prática da definição do metro e o desenvolvimento de novos padrões de frequência ópticos (<http://www.bipm.org/fr/CGPM/db/23/9/>, página 171/<http://www.bipm.org/en/CGPM/db/23/9/>, página 431).
- 4) 23ª CGPM de 2007, Resolução 10, Esclarecimento sobre a definição do kelvin, unidade de temperatura termodinâmica (<http://www.bipm.org/fr/CGPM/db/23/10/>, página 172/<http://www.bipm.org/en/CGPM/db/23/10/>, página 432).
- 5) 23ª CGPM de 2007, Resolução 12, Sobre a possível redefinição de algumas unidades de base do Sistema Internacional de Unidades (SI) (<http://www.bipm.org/fr/CGPM/db/23/10/>, página 174/<http://www.bipm.org/en/CGPM/db/23/12/>, página 434).
- 6) CIPM 2009, Recomendação 2, Atualização da lista de frequências-padrão (<http://www.bipm.org/utis/fr/pdf/CI-2009-2-FR.pdf>, Página 105/<http://www.bipm.org/utis/en/pdf/CI-2009-2-EN.pdf>, página 235).
- 7) 24ª CGPM de 2011, Resolução 1, Sobre a possível futura revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI (<http://www.bipm.org/fr/CGPM/db/24/1/>, página 212/<http://www.bipm.org/en/CGPM/db/24/1/>, página 532).
- 8) 24ª CGPM, 2011, Resolução 8, Sobre a revisão da realização prática do metro e o desenvolvimento de novos padrões de frequência ópticos (<http://www.bipm.org/fr/CGPM/db/24/8/>, página 227, <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/24/8/>, página 546).
- 9) CIPM de 2013, Recomendação 1, Atualizações da lista de frequências-padrão (<http://www.bipm.org/utis/fr/pdf/CI-2013-1-FR.pdf>, Página 53/<http://www.bipm.org/utis/en/pdf/CI-2013-1-EN.pdf>, página 144).



CIPM de 2006, Recomendação 1, Sobre as representações secundárias do segundo

**RECOMENDAÇÕES ADOTADAS PELO COMITÊ INTERNACIONAL DE PESOS E MEDIDAS**

**RECOMENDAÇÃO 1 (CI-2006)**

Sobre as representações secundárias do segundo

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM),

**considerando**

- que deve ser estabelecida uma lista comum de "valores recomendados de frequências-padrão destinadas à realização prática da definição do metro e às representações secundárias do segundo",
- que o Grupo de Trabalho Conjunto dos Comitês Consultivos de Comprimento (CCL) e de Tempo e Frequência (CCTF), *CCL/CCTF-JWG*, sobre a realização prática da definição do metro e as representações secundárias do segundo, em sua reunião no Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) em setembro de 2005, discutiu a possível inclusão das frequências de radiação possíveis de serem incluídas na lista das representações secundárias do segundo,
- que o JWG-CCL/CCTF revisou e atualizou os valores das frequências de transição do íon de mercúrio, do íon de estrôncio, do íon de itérbio e do átomo neutro do estrôncio em sua reunião de setembro de 2006,
- que o CCTF em sua Recomendação CCTF 1 (2004) já havia recomendado a frequência da transição quântica hiperfina não perturbada do estado fundamental do átomo de  $^{87}\text{Rb}$  como uma representação secundária do segundo;

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

- a transição quântica hiperfina não perturbada do estado fundamental do átomo de  $^{87}\text{Rb}$ , na frequência de  $f_{\text{Rb}}^{87} = 6\,834\,682\,610\,904\,324$  Hz, com uma incerteza-padrão relativa estimada de  $3 \times 10^{-15}$ ,
- a transição óptica não perturbada  $5s^2S_{1/2} - 4d^2D_{5/2}$  do íon  $^{88}\text{Sr}^+$ , com a frequência de  $f_{\text{Sr}^+}^{88} = 444\,779\,044\,095\,484$  Hz, e uma incerteza-padrão relativa estimada de  $7 \times 10^{-15}$ ,
- a transição óptica não perturbada  $5d^{10}6s^2S_{1/2} (F=0) - 5d^96s^2D_{5/2} (F=2)$  do íon  $^{199}\text{Hg}^+$ , com a frequência de  $f_{\text{Hg}^+}^{199} = 1\,064\,721\,609\,899\,145$  Hz e uma incerteza-padrão relativa estimada de  $3 \times 10^{-15}$ ,
- a transição óptica não perturbada  $6s^2S_{1/2} (F=0) - 5d^2D_{3/2} (F=2)$  do íon  $^{171}\text{Yb}^+$ , com a frequência de  $f_{\text{Yb}^+}^{171} = 688\,358\,979\,309\,308$  Hz, e uma incerteza-padrão relativa estimada de  $9 \times 10^{-15}$ ,
- a transição óptica não perturbada  $5s^2S_0 - 5s5p^3P_0$  do átomo neutro de  $^{87}\text{Sr}$ , com uma frequência de  $f_{\text{Sr}}^{87} = 429\,228\,004\,229\,877$  Hz e uma incerteza-padrão relativa estimada de  $1,5 \times 10^{-14}$ .

CIPM de 2007, Recomendação 1, Revisão da lista das radiações recomendadas para a implementação da definição do metro

**RECOMENDAÇÕES ADOTADAS PELO COMITÊ INTERNACIONAL DE PESOS E MEDIDAS**

**RECOMENDAÇÃO 1 (CI-2007)**

**Revisão da lista de radiações recomendadas para a realização prática da definição do metro**

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas,

**considerando** que:

- com a utilização de pente de frequências baseado em laser de femtosegundo, foram determinados valores mais exatos das frequências de moléculas na região das telecomunicações ópticas, já documentados na lista de frequências-padrão;
- foram determinadas, pela primeira vez, as frequências de moléculas na região das telecomunicações ópticas utilizando pente de frequências baseado em laser de femtosegundo;
- foram determinadas, pela primeira vez, as frequências de certas transições no iodo, em células de gás, transições próximas da radiação emitida por um padrão de frequência óptica de 532 nm, usando pente de frequências baseado em laser de femtosegundo;

**propõe** que a lista de frequências-padrão seja revisada para incluir:

- os valores atualizados das frequências da banda ( $\nu_1 + \nu_3$ ) do  $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ , ao redor de 1,54  $\mu\text{m}$ ;
- os valores das frequências da banda ( $2\nu_1$ ) do  $^{12}\text{C}_2\text{HD}$ , ao redor de 1,54  $\mu\text{m}$ ;
- os valores das frequências das componentes hiperfinas das transições P(142) 37-0, R(121) 35-0 e R(85) 33-0 do iodo em 532 nm.

23ª CGPM de 2007, Resolução 9, Sobre a revisão da realização prática da definição do metro e o desenvolvimento de novos padrões de frequência ópticos

### **Sobre a revisão da realização prática da definição do metro e o desenvolvimento de novos padrões ópticos de frequência**

#### **Resolução 9**

A 23ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

#### **considerando**

- o rápido progresso e os importantes aperfeiçoamentos no desempenho dos padrões ópticos de frequência,
- que as técnicas dos pentes de frequências com pulsos de femtosegundos são comumente usados para relacionar as radiações ópticas e de micro-ondas no mesmo lugar,
- que os Institutos Nacionais de Metrologia estão trabalhando com técnicas de comparação de padrões ópticos de frequência em distâncias curtas,
- que técnicas de comparação remotas devem ser desenvolvidas em nível internacional a fim de possibilitar a comparação dos padrões ópticos de frequência,

#### **congratula-se com**

- as atividades do Grupo de Trabalho Conjunto dos Comitês Consultivos de Comprimento e de Tempo e Frequência para revisar as frequências das representações do segundo com base em frequências ópticas,
- as adições à realização prática da definição do metro e à lista de radiações recomendadas e aprovadas pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas em 2002, 2003, 2005, 2006 e 2007,
- a iniciativa do Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) de discutir os meios de como comparar padrões ópticos de frequência,

#### **recomenda que:**

- os Institutos Nacionais de Metrologia se comprometam com os recursos necessários para o desenvolvimento de padrões ópticos de frequência e sua comparação,
- o BIPM coordene um projeto internacional com a participação dos Institutos Nacionais de Metrologia, orientado para o estudo de técnicas que poderiam ser usadas para comparar padrões ópticos de frequência.

23ª CGPM de 2007, Resolução 10, Esclarecimento sobre a definição do kelvin, unidade de temperatura termodinâmica

### **Esclarecimento sobre a definição do kelvin, unidade de temperatura termodinâmica**

#### **Resolução 10**

A 23ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

#### **considerando**

- que o kelvin, a unidade de temperatura termodinâmica, é definida como a fração  $1/273,16$  da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água,
- que a temperatura do ponto triplo da água depende da quantidade relativa dos isótopos de hidrogênio e de oxigênio presentes na amostra da água empregada,
- que este efeito é atualmente uma das principais fontes da variação observada entre diferentes realizações do ponto triplo da água,

**registra e acolhe** a decisão do Comitê Internacional de Pesos e Medidas em outubro de 2005, com base no parecer do Comitê Consultivo de Termometria, segundo a qual

- a definição do kelvin se refere à água de composição isotópica especificada,

• esta composição é:

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

que é a composição do material de referência da Agência Internacional de Energia Atômica "Viena Standard Mean Ocean Water (VSMOW)", como recomendado pela União Internacional de Química Pura e Aplicada em "Atomic Weights of the Elements: Review 2000",

- esta composição está definida na nota apensa à definição do kelvin no Sistema Internacional de Unidades como:

"Esta definição refere-se à água com composição isotópica definida pelas seguintes razões de quantidade de substância: 0,000 155 76 mol de  $^2\text{H}$  por mol de  $^1\text{H}$ , 0,000 379 9 mol de  $^{17}\text{O}$  por mol de  $^{16}\text{O}$  e 0,002 005 2 mol de  $^{18}\text{O}$  por mol de  $^{16}\text{O}$ ".

23ª CGPM de 2007, Resolução 12, Sobre a possível redefinição de algumas unidades de base do Sistema Internacional de Unidades (SI)

### Sobre a eventual redefinição de algumas unidades de base do Sistema Internacional de Unidades (SI)

#### Resolução 12

A 23ª Conferência Geral de Pesos e Medidas,

#### considerando

- que os Institutos Nacionais de Metrologia e o Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) têm dedicado esforços consideráveis ao longo de muitos anos para promover e melhorar o Sistema Internacional de Unidades (SI), ampliando os limites da metrologia a fim de definir as unidades de base do SI em função de constantes da natureza - as constantes físicas fundamentais,
- que das sete unidades de base, apenas o quilograma ainda é definido em termos de um objeto material (artefato), o 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,
- que a 21ª CGPM aprovou, em 1999, a Resolução 7, recomendando que “os laboratórios nacionais continuassem seus esforços para aperfeiçoar as experiências que liguem a unidade de massa às constantes fundamentais ou atômicas e que, no futuro, sirvam de base a uma nova definição do quilograma”,
- que vários progressos foram realizados nos últimos anos para relacionar a massa do protótipo internacional à constante de Planck,  $h$ , e à constante de Avogadro,  $N_A$ ,
- as iniciativas para determinar o valor de várias constantes fundamentais, incluindo o trabalho para redeterminar a constante de Boltzmann,  $k_B$ ,
- que, acompanhando o progresso recente, há implicações significativas e vantagens potenciais decorrentes das novas definições do quilograma, do ampere, do kelvin e do mol,
- a Recomendação 1 do Comitê Internacional (CI-2005) adotada na reunião de outubro de 2005 e várias outras recomendações dos Comitês Consultivos sobre o tema da redefinição de uma ou mais unidades de base do SI,

#### observando

- que as mudanças nas definições das unidades do SI devem ser consistentes,
- que as definições das unidades de base do SI devem ser facilmente compreendidas,
- o trabalho realizado pelo Comitê Internacional e pelos Comitês Consultivos,
- a necessidade de monitorar os resultados de experimentos relevantes,
- a importância de solicitar comentários e contribuições das comunidades científicas e de usuários, e
- a decisão do Comitê Internacional em 2005 de aprovar, em princípio, a preparação das 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 com os experimentos relevantes a fim de que o Comitê Internacional possa chegar a uma conclusão sobre se é possível redefinir o quilograma, o ampere, o kelvin, e o mol empregando valores fixados das constantes fundamentais na época da 24ª Conferência Geral em 2011,
- avaliem, em colaboração com o Comitê Internacional, seus Comitês Consultivos e Grupos de Trabalho apropriados, os meios práticos de realizar as novas definições baseadas nos valores fixados das constantes fundamentais, preparem uma realização prática para cada definição, e considerem o modo mais adequado para explicar as novas definições aos usuários,
- criem campanhas de sensibilização para alertar as comunidades de usuários sobre a possibilidade de novas definições de modo que as implicações técnicas e legais de tais redefinições, bem como suas realizações práticas sejam cuidadosamente discutidas e examinadas,

e **solicita** ao Comitê Internacional que apresente um relatório a respeito deste trabalho na 24ª Conferência Geral em 2011 e realize todos os preparativos que sejam considerados necessários, de modo que, se os resultados das experiências forem considerados adequados e atendam às necessidades dos usuários, possa ser oficialmente proposto na 24ª Conferência Geral a aprovação das novas definições do quilograma, do ampere, do kelvin e do mol.

## CIPM 2009, Recomendação 2, Atualização da lista de frequências-padrão

**RECOMENDAÇÃO 2 (CI-2009)****Atualização da lista de frequências-padrão**

O Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM),

**considerando**

- que foi estabelecida uma lista comum dos “valores recomendados de frequências-padrão destinadas à realização prática da definição do metro e às representações secundárias do segundo”;
- que o Grupo de Trabalho sobre Padrões de Frequência (WGFS) do CCL e do CCTF revisou várias frequências possíveis de serem incluídas nessa lista;

**recomenda**

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

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

## 24ª CGPM de 2011, Resolução 1, Sobre a possível futura revisão do Sistema Internacional de Unidades, o SI

**Sobre a possível futura revisão do Sistema Internacional de Unidades, SI**

## Resolução 1

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

**considerando**

- que há um consenso internacional sobre a importância, o valor e os potenciais benefícios de uma redefinição de algumas unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI),
- que, nas últimas décadas, os Institutos Nacionais de Metrologia e o Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) despenderam esforços consideráveis para o aperfeiçoamento do Sistema Internacional de Unidades (SI), ampliando as fronteiras da metrologia, de modo que as unidades de base do SI possam ser definidas em função de constantes da natureza - constantes físicas fundamentais ou propriedades dos átomos,
- que um exemplo notável do sucesso desse esforço é a atual definição da unidade de comprimento do SI, o metro (17ª Reunião da CGPM, 1983, Resolução 1), que relaciona a unidade a um valor exato da velocidade da luz no vácuo  $c$ , a saber, 299 792 458 metros por segundo,
- que das sete unidades de base do SI, apenas o quilograma ainda é definido por um objeto material (artefato), ou seja, o protótipo internacional do quilograma (1ª Reunião da CGPM de 1889, 3ª Reunião da CGPM de 1901), e que as definições do ampere, do mol e da candela dependem do quilograma,
- que, embora o protótipo internacional tenha servido à ciência e à tecnologia, desde que foi sancionado pela CGPM em sua primeira reunião em 1889, a sua utilização tem limitações importantes; uma das mais significativas sendo que a sua massa não está explicitamente relacionada a uma constante da natureza e, por conseguinte, a sua estabilidade de longo prazo não pode ser garantida,

- que a CGPM, em sua 21ª Reunião, em 1999, aprovou a Resolução 7, a qual recomenda que "os laboratórios nacionais continuem seus esforços para aperfeiçoar os experimentos que relacionem a unidade de massa às constantes fundamentais ou atômicas, o que poderia, no futuro, servir de base para uma nova definição do quilograma",
- que, nos últimos anos, muito progresso tem sido feito para relacionar a massa do protótipo internacional à constante de Planck  $h$ , por métodos tais como os experimentos da balança de watt ou a medição da massa de um átomo de silício,
- que as incertezas associadas a todas as unidades elétricas do SI realizadas, direta ou indiretamente, por meio do efeito Josephson e do efeito Hall quântico, juntamente com os valores fornecidos no SI para as constantes de Josephson,  $K_J$ , e de von Klitzing,  $R_K$ , poderiam ser reduzidas significativamente se o quilograma fosse redefinido de modo a ser relacionado a um valor numérico exato de  $h$ , e se o ampere fosse redefinido de modo a ser relacionado a um valor numérico exato da carga elementar  $e$ ,
- que a definição atual do kelvin baseia-se numa propriedade intrínseca da água que, embora sendo uma constante da natureza, na prática depende da pureza e da composição isotópica da água empregada,
- que é possível redefinir o kelvin de modo que fique relacionado a um valor numérico exato da constante de Boltzmann  $k$ ,
- que também é possível redefinir o mol de modo que fique relacionado a um valor numérico exato da constante de Avogadro  $N_A$ , de forma que ele não dependa mais da definição do quilograma, mesmo que o quilograma seja definido em função de um valor numérico exato de  $h$ , enfatizando a distinção entre as grandezas quantidade de substância e massa,
- que as incertezas associadas aos valores de outras constantes fundamentais e fatores de conversão de energia seriam eliminadas ou reduzidas significativamente se  $h$ ,  $e$ ,  $k$  e  $N_A$  tivessem valores numéricos exatos quando expressos em unidades SI,
- que a CGPM, em sua 23ª Reunião em 2007, adotou a Resolução 12 que estabeleceu o trabalho a ser feito pelos Institutos Nacionais de Metrologia, o BIPM e o Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), junto com seus Comitês Consultivos, para que as novas definições do quilograma, do ampere, do kelvin e do mol baseadas em constantes fundamentais pudessem ser adotadas,
- que, apesar dos progressos significativos realizados, não foram cumpridas todas as metas estabelecidas pela Resolução 12 adotada pela CGPM na sua 23ª Reunião, o que não permite ao CIPM apresentar uma proposta definitiva,
- que, no entanto, agora já é possível apresentar uma versão clara e detalhada do que pode ser proposto,

**registra** a intenção do Comitê Internacional de Pesos e Medidas de propor uma revisão do SI que seria a seguinte:

- o Sistema Internacional de Unidades, o SI, será o sistema de unidades em que:
- a frequência da transição hiperfina do estado fundamental 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  $K_{\text{cd}}$  de uma radiação monocromática de frequência  $540 \times 10^{12}$  Hz é exatamente igual a 683 lumens por watt,

onde

- (i) as unidades hertz, joule, coulomb, lúmen e watt, cujos símbolos são, respectivamente, Hz, J, C, lm e W, são relacionadas às unidades segundo, metro, quilograma, ampere, kelvin, mol e candela, que têm, respectivamente, os símbolos s, m, kg, A, K, mol, e cd, de acordo com as relações  $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$ ,  $\text{J} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$ ,  $\text{C} = \text{s A}$ ,  $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$ , e  $\text{W} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$ ,
- (ii) o símbolo X do presente projeto de resolução corresponde a um ou mais dígitos que deverão ser adicionados aos valores numéricos de  $h$ ,  $e$ ,  $k$ , e  $N_A$  de acordo com os valores resultantes do ajuste mais recente fornecido pelo CODATA, o que significa que o SI continuará a ter as atuais sete unidades de base e que, notadamente
  - o quilograma continuará a ser a unidade de massa, mas sua magnitude será determinada fixando-se o valor numérico da constante de Planck exatamente em  $6,626\ 06\text{X} \times 10^{-34}$  quando expresso na unidade do SI  $\text{m}^2 \text{kg s}^{-1}$ , o que corresponde ao joule segundo, J s,
  - o ampere continuará a ser a unidade de corrente elétrica, mas sua magnitude será determinada fixando-se o valor numérico da carga elementar exatamente em  $1,602\ 17\text{X} \times 10^{-19}$  quando expresso na unidade do SI s A, que corresponde ao coulomb, C,
  - o kelvin continuará a ser a unidade de temperatura termodinâmica, mas sua magnitude será determinada fixando-se o valor numérico da constante de Boltzmann exatamente em  $1,380\ 6\text{X} \times 10^{-23}$  quando expresso na unidade do SI  $\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$ , que corresponde ao joule por kelvin, J K<sup>-1</sup>,

- o mol continuará a ser a unidade de quantidade de substância de uma entidade elementar específica, ou seja, de um átomo, uma molécula, um íon, um elétron, ou qualquer outra partícula ou grupo específico de tais partículas, mas sua magnitude será determinada fixando-se o valor numérico da constante de Avogadro exatamente em  $6,022\,14 \times 10^{23}$  quando expresso na unidade do SI  $\text{mol}^{-1}$ .

A Conferência Geral de Pesos e Medidas,

**também observa**

- que as novas definições do quilograma, do ampere, do kelvin e do mol serão redigidas utilizando uma formulação chamada "constante explícita", isto é, uma definição em que a unidade é definida indiretamente explicitando-se um valor exato para uma constante fundamental reconhecida,
- que a definição atual do metro está relacionada a um valor exato da velocidade da luz no vácuo, que é também uma constante fundamental reconhecida,
- que a definição atual do segundo está relacionada a um valor exato de uma propriedade bem definida do átomo de césio, que é também uma constante da natureza,
- que a definição atual da candela não está relacionada a uma constante fundamental, mas que ela pode ser considerada relacionada a um valor exato de uma constante da natureza,
- que a inteligibilidade do Sistema Internacional de Unidades seria aprimorada se todas as unidades de base fossem definidas utilizando-se a mesma formulação, razão pela qual o Comitê Internacional de Pesos e Medidas proporá reformular as atuais definições do segundo, do metro e da candela de forma completamente equivalente, que poderia ser como abaixo:
- o segundo, símbolo s, é a unidade de tempo; sua magnitude é determinada 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, em exatamente 9 192 631 770 quando expresso na unidade do SI  $\text{s}^{-1}$ , igual a Hz,
- o metro, símbolo m, é a unidade de comprimento; sua magnitude é determinada fixando-se o valor numérico da velocidade da luz no vácuo exatamente em 299 792 458 quando expresso na unidade do SI  $\text{m s}^{-1}$ ,
- a candela, símbolo cd, é a unidade de intensidade luminosa numa dada direção; sua magnitude é determinada fixando-se o valor numérico da eficácia luminosa de uma radiação monocromática de frequência  $540 \times 10^{12}$  Hz exatamente em 683 quando ela é expressa na unidade do SI  $\text{m}^{-2} \text{kg}^{-1} \text{s}^3 \text{cd sr}$  ou  $\text{cd sr W}^{-1}$ , e que corresponde ao lúmen por watt,  $\text{lm W}^{-1}$ . Assim, as definições das sete unidades de base do SI decorrem naturalmente das sete constantes indicadas anteriormente. Consequentemente, na data escolhida para a implementação da revisão do SI:
- a definição do quilograma em vigor desde 1889, baseada na massa do protótipo internacional do quilograma (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  $R_{K-90}$  adotadas pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM, 1988, Recomendações 1e 2) sob o pedido da CGPM (18ª Reunião da CGPM, 1987, Resolução 6) para o estabelecimento das representações do volt e do ohm com auxílio dos efeitos Josephson e Hall quântico, respectivamente, serão revogadas,
- 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 na massa molar do carbono 12 com o valor exato de  $0,012 \text{ kg mol}^{-1}$ , será revogada,
- as definições existentes do metro, do segundo e da candela, em vigor desde que foram adotadas pela CGPM em suas 17ª (1983, Resolução 1), 13ª (1967/68, Resolução 1) e 16ª (1979, Resolução 3) reuniões, respectivamente, serão revogadas.

A Conferência Geral de Pesos e Medidas,

**considera** que na mesma data

- a massa do protótipo internacional do quilograma  $m(K)$  será igual a 1 kg, com uma incerteza relativa igual a do valor recomendado de  $h$  pouco antes da redefinição, sendo, a seguir, seu valor determinado experimentalmente,
- a constante magnética (a permeabilidade do vácuo)  $\mu_0$  será igual a  $4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$ , com uma incerteza relativa igual à do valor recomendado para a constante de estrutura fina  $\alpha$ , sendo, a seguir, seu valor determinado experimentalmente,

- a temperatura termodinâmica do ponto triplo da água  $T_{TPW}$  será igual a 273,16 K, com uma incerteza relativa igual à do valor recomendado de  $k$  pouco antes da redefinição, sendo, a seguir, seu valor determinado experimentalmente,
- a massa molar do carbono 12  $M(^{12}\text{C})$  será igual a 0,012 kg mol<sup>-1</sup>, com uma incerteza relativa igual à do valor recomendado de  $N_A$  pouco antes da redefinição, sendo, a seguir, seu valor determinado experimentalmente.

A Conferência Geral de Pesos e Medidas,

#### **encoraja**

- os pesquisadores dos Institutos Nacionais de Metrologia, do BIPM e das instituições universitárias a continuarem seus esforços e a transmitir à comunidade científica em geral e ao CODATA em particular os resultados de seus trabalhos sobre a determinação das constantes  $h$ ,  $e$ ,  $k$ , e  $N_A$ , e
- o BIPM a continuar seu trabalho a fim de assegurar a rastreabilidade dos protótipos de massa que ele mantém ao protótipo internacional do quilograma, bem como desenvolver um conjunto de padrões de referência que facilite a disseminação da unidade de massa, quilograma, quando redefinida,

#### **e convida**

- o CODATA a continuar a fornecer os valores das constantes físicas fundamentais ajustados com base nos dados pertinentes disponíveis, bem como a transmitir os resultados ao CIPM por intermédio do Comitê Consultivo de Unidades, uma vez que os valores e as incertezas do CODATA serão empregados para a revisão do SI,
- o CIPM a propor a revisão do SI logo que as recomendações da Resolução 12 adotada pela CGPM em sua 23ª Reunião sejam atendidas, em particular a preparação das realizações práticas das novas definições do quilograma, do ampere, do kelvin e do mol,
- o CIPM a continuar seu trabalho a fim de obter uma formulação aperfeiçoada das definições das unidades de base do SI baseada nas constantes fundamentais, tendo como objetivo conseguir, tanto quanto possível, uma descrição mais compreensível para todos os usuários, mantendo a clareza e o rigor científico,
- o CIPM, os Comitês Consultivos, o BIPM, a OIML e os Institutos Nacionais de Metrologia a intensificar seus esforços a fim de iniciar campanhas de sensibilização para informar as comunidades de usuários e o grande público do projeto de redefinição de algumas unidades do SI, e a encorajar o exame das implicações jurídicas, técnicas e práticas das redefinições, a fim de solicitar comentários e contribuições da vasta comunidade de cientistas e de usuários.

24ª CGPM, 2011, Resolução 8, Sobre a revisão da realização prática do metro e o desenvolvimento de novos padrões de frequência ópticos

#### **Sobre a revisão da realização prática da definição do metro e o desenvolvimento de novos padrões ópticos de frequência**

Resolução 8

A Conferência Geral de Pesos e Medidas em sua 24ª reunião,

#### **considerando**

- que o desempenho dos padrões ópticos de frequência tem sido rápida e significativamente aperfeiçoado,
- que os Institutos Nacionais de Metrologia atualmente estão trabalhando em técnicas de comparação remota de padrões ópticos de frequência,
- que as técnicas de comparação remota de padrões ópticos de frequência devem ser desenvolvidas em nível internacional,

#### **congratula-se com**

- as atividades do Grupo de Trabalho Conjunto dos Comitês Consultivos de Comprimento (CCL) e de Tempo e Frequência (CCTF) de rever as frequências das representações ópticas do segundo,
- os itens adicionados pelo CIPM em 2009 à lista comum de "valores recomendados de frequências-padrão para a realização prática da definição do metro e as representações secundárias do segundo",
- o estabelecimento de um Grupo de Trabalho do CCTF sobre a coordenação do desenvolvimento de técnicas avançadas de comparação de tempo e frequência,

#### **recomenda que**

- os Institutos Nacionais de Metrologia comprometam recursos necessários para desenvolver padrões ópticos de frequência e suas comparações,
- o BIPM ajude a coordenar um projeto internacional com a participação dos Institutos Nacionais de Metrologia, sobre o estudo das técnicas que poderiam ser usadas para comparar os padrões ópticos de frequência.

CIPM de 2013, Recomendação 1, Atualizações à lista de frequências-padrão

#### Apêndice 4

### RECOMENDAÇÃO ADOTADA PELO COMITÊ INTERNACIONAL DE PESOS E MEDIDAS

#### RECOMENDAÇÃO 1 (CI-2013):

#### Atualização da lista de frequências-padrão

O comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM),

#### considerando

- que deve ser estabelecida uma lista comum de "valores recomendados de frequências-padrão destinados à realização prática da definição do metro e representações secundárias do segundo",
- que o Grupo de Trabalho Conjunto do CCL e do CCTF sobre Padrões de Frequência examinou várias frequências possíveis de serem incluídas na lista,

**recomenda** adotar as seguintes mudanças na lista de "valores recomendados de frequências-padrão destinadas à realização prática da definição do metro e às representações secundárias do segundo":

- incluir a frequência da transição seguinte na lista das frequências-padrão recomendadas:
  - a transição óptica não perturbada  $6s^2S_0 - 6s6p^3P_0$  do átomo neutro de  $^{199}\text{Hg}$ , com uma frequência de 1 28 575 290 808 162 Hz e uma incerteza-padrão relativa estimada de  $1,7 \times 10^{-14}$ ;
- atualizar as frequências de transição seguintes da lista de frequências-padrão recomendadas:
  - a transição óptica não perturbada  $4s^2S_{1/2} - 3d^2D_{5/2}$  do íon  $^{40}\text{Ca}^+$  com a frequência de 411 042 129 776 395 Hz com uma incerteza-padrão relativa estimada de  $1,5 \times 10^{-14}$ ;
  - a transição óptica não perturbada  $1S - 2S$  do átomo neutro de  $^1\text{H}$  com a frequência de 1 233 030 706 593 518 Hz com uma incerteza-padrão relativa estimada de  $1,2 \times 10^{-14}$ ;
  - Nota: esta frequência corresponde à metade da diferença em energia entre os estados  $1S$  e  $2S$ ;
- atualizar as frequências das seguintes transições da lista de frequências-padrão recomendadas e aprovadas como representações secundárias do segundo:
  - a transição óptica não perturbada  $6s^2S_{1/2} - 4f^{13}6s^{22}F_{7/2}$  do íon de  $^{171}\text{Yb}^+$  (octopolo), com a frequência de 642 121 496 772 645,6 Hz com uma incerteza-padrão relativa estimada de  $1,3 \times 10^{-15}$ ;
  - a transição óptica não perturbada  $6s^2S_0 - 6s6p^3P_0$  do átomo neutro de  $^{171}\text{Yb}$ , com a frequência de 518 295 836 590 865,0 Hz com uma incerteza-padrão relativa estimada de  $2,7 \times 10^{-15}$ ;
- incluir a frequência da seguinte transição à lista de frequências-padrão recomendadas e aprová-la como representação secundária do segundo:
  - a transição óptica não perturbada  $3s^21S_0 - 3s3p^3P_0$  do íon de  $^{27}\text{Al}^+$ , com a frequência de 1 121 015 393 207 857,3 Hz com uma incerteza-padrão relativa estimada de  $1,9 \times 10^{-15}$ ;
- atualizar as frequências das seguintes transições da lista de frequências-padrão recomendadas e aprová-las como representações secundárias do segundo:
  - a transição óptica não perturbada  $5d^{10}6s^2S_{1/2} - 5d^96s^{22}D_{5/2}$  do íon de  $^{199}\text{Hg}^+$ , com a frequência de 1 064 721 609 899 145,3 Hz com uma 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 a frequência de 688 358 979 309 307,1 Hz com uma incerteza-padrão relativa estimada de  $3 \times 10^{-15}$ ;
  - a transição óptica não perturbada  $5s^2S_{1/2} - 4d^2D_{5/2}$  do íon de  $^{88}\text{Sr}^+$ , com a frequência de 444 779 044 095 485,3 Hz com uma incerteza-padrão relativa estimada de  $4,0 \times 10^{-15}$ ;
  - a transição óptica não perturbada  $5s^2S_0 - 5s5p^3P_0$  do átomo neutro de  $^{87}\text{Sr}$ , com a frequência de 429 228 004 229 873,4 Hz com uma incerteza-padrão relativa estimada de  $1 \times 10^{-15}$ ;
- atualizar a frequência da seguinte transição da lista de frequências-padrão recomendadas e aprová-la como representação secundária do segundo:
  - a transição quântica hiperfina não perturbada do estado fundamental do átomo de  $^{87}\text{Rb}$ , com a frequência de 6 834 682 610,904 312 Hz com uma 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 %. Contudo, dado o número muito limitado de dados disponíveis, existe a possibilidade de que, retrospectivamente, isto não seja exato.