SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

SI

1ª Edição Brasileira da 8ª Edição do BIPM

INMETRO

Sistema
Internacional de
Unidades SI



Sistema Internacional de Unidades C

Le Système international d'unités

Traducio autorizada pelo BIPM da 84 edicio de 2006 de sua publicacio bilingue Le Système international d'unités. conhecida como Brochure sur le SLem francês, ou The International System of Units, conhecida como SL brochure

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

Grupo de Trabalho para a tradução

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

Coordenador-

Paulo Roberto da Fonseca Santos - Dimci/Dicep

Equipe:

Aldo Correia Dutra - Inmetro/Presi Carla Tereza Coelho - Inmetro/Dimci/Diopt

Giorgio Moscati - Inmetro

Iakyra Borrakuens Couceiro - Inmetro/Dimci/Diopt

José Blois Filho - Inmetro/Dimel/Dider

José Carlos Valente de Oliveira - Inmetro/Dimci/Dimec Luiz Duarte de Arraes Alencar - Inmetro/Cicma/Sepin

Sérgio Pinheiro de Oliveira - Inmetro/Dimci/Dimec

de Nêutrons

Pessoas convidadas pelo coordenador:

Evaldo Simoes da Fonseca - IRD/LNMRI/Laboratório

Ricardo José de Carvalho - Observatório Nacional

© 2012 Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO)

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

Inmetro

João Alziro Herz da Jornada

Occar Accordd

Director de Planeiamento e Desenvolvimento

Renata Bondim

Chefe de Centro de Capacitação

Luiz Duarte de Arraes Alencar

Chefe do Servico de Produtos de Informação

Desenvolvimento e Edicão

Alciene Salvador

Paulo Roberto da Fonseca Santos

Coordenação Editorial

Alciene Salvador

Projeto Gráfico

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

Revisores

André Rocha

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

Catalogação no Servico de Documentação e Informação do Inmetro

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

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

Sistema SI. 2. Unidade de Medida. 3. Metrologia. I. INMETRO
 Titulo

CDD 530.812

INMETRO Centro de Capacitacă

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

Sumário

Apresentação	
Prefácio da 8ª edição	
O BIPM e a Convenção do Metro	11
1 Introdução	
1.1 Grandezas e unidades	15
1.2 O Sistema Internacional de Unidades (SI) e o sistema de grandeza correspondentes	s 16
1.3 Dimensão das grandezas	17
1.4 Unidades coerentes, unidades derivadas que possuem nomes espe e prefixos SI	eciais 18
1.5 As unidades SI no quadro da relatividade geral	19
1.6 Unidades de grandeza que descrevem efeitos biológicos	19
1.7 Legislação sobre as unidades	20
1.8 Nota histórica	20
2 Unidades SI	
2.1 Unidades de base do SI	23
2.1.1 Definições	23
2.1.1.1 Unidade de comprimento (metro)	24
2.1.1.2 Unidade de massa (kilograma)	24
2.1.1.3 Unidade de tempo (segundo)	24
2.1.1.4 Unidade de corrente elétrica (ampere)	25
2.1.1.5 Unidade de temperatura termodinâmica (kelvin)	25
2.1.1.6 Unidade de quantidade de substância (mol)	26
2.1.1.7 Unidade de intensidade luminosa (candela)	28
2.1.2 Símbolos das sete unidades de base	28
2.2 Unidades SI derivadas	
2.2.1 Unidades derivadas expressas a partir das unidades de bas	e 29
2.2.2 Unidades com nomes e símbolos especiais; unidades que	
incorporam nomes e símbolos especiais	29
2.2.3 Unidades para grandezas adimensionais	
ou grandezas de dimensão um	32
3 Múltiplos e submúltiplos decimais das unidades SI	
3.1 Prefixos SI	34
3.2 O kilograma	35

4 Unidades fora do SI

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

4.2 Outras unidades fora do SI cujo uso não é recomendado

5 Regras para gi das grandezas	rafia de nomes e símbolos das unidades e expressão d	os valores
5.1 Símbolo	os das unidades	43
5.2 Nomes	das unidades	47
	e convenções de estilo para expressar os das grandezas	44
5.3.1	Valor e valor numérico de uma grandeza; utilização do cálculo formal	44
5.3.2	Símbolos de grandezas e símbolos de unidades	46
5.3.3	Grafia do valor de uma grandeza	46
5.3.4	Grafia de números e separador decimal	46
5.3.5	Expressão da incerteza de medição associada ao valor de uma grandeza	47
5.3.6	Multiplicação ou divisão de símbolos de grandezas, valores de grandezas ou números	47
5.3.7	Valor de grandeza adimensional ou de grandezas de dimensão um	47
Anexos		
Anexo 1 – As de	cisões da CGPM e do CIPM	49
Anexo 2 – Realiz	zação prática das definições das principais unidades	85
Anexo 3 – Unida	ides para grandezas fotoquímicas e fotobiológicas	87
Lista dos acrôni	mos utilizados nesta publicação	
1 Sigla de labora	tórios, Comissões e Conferências	89
2 Acrônimos para	a Termos Científicos	90
Índice		91

36

42

Apresentação

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

O Inmetro, consciente de que a disseminação da cultura metrológica no Brasil é uma de suas principals missões, disponibiliza à sociedade esta edição da brochura "Sistema Internacional de Unidados SI. Diadados SI.

O SI, que recebeu este nome em 1960, teve como propósito de sua criação a necessidade de um sistema prático mundalmente aceito nas relações internacionais, no ensino e no trabalho científico, sendo, naturalmente, um sistema que evolui de forma continua para refletir as melhores práticas de modificio, que são a sereferio aceito, como e document do terrora continua para refletir as melhores práticas de modificio, que são a sereferio aceito, como e document do terrora continua para refletir as melhores práticas de

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

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

Esta tradução acolhe em seu texto decisões do Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, assim como as regras adotadas pelo Bureau Internacional de Pesos e Medidas- BIPM para a formação do nome de múltiplos e su 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 affabeto português (Anexo I, Base I, 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 silovati).

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

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

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

Nota dos Tradutores

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

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

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

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

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

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

Prefácio da 8ª edição

Nós temos o prazer de apresentar a 8º edição deste trabalho, comumente chamado em francês de Brochure sur le \$1 ou \$1 brochure em inglês, que define chamado em francês de Brochure sur le \$1 ou \$1 brochure em inglês, que define en apresenta o \$istema Internacional de Unidades, o \$1. Este trabalho é publicado en papel e também é disponher la forma digital no site do BIPM, em inglês, en endereço www.bipm.org.en/si/si_brochure e, em francês, no endereço www.bipm.fr/si/si brochure.

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

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

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

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

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

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

Este documento tem sido usado como um trabalho de referência em muitos países, organizações e uniões científicas há mais de 34 anos. Para tomá-lo acestive ao maior número de leitores, o CIPM decidiu, em 1985, incluir uma versão em inglês do texto na 5º edição; nas achções posteriores, a apresentação bilingue continuou sendo praticada. Para a primeira versão em inglês o BIPM empenhouse em produzir uma tradução fiel do original francês em colaboração com o NPL (Teddington, Inglaterra) e o NIST (Gaithersburg, EUA). NIS anouela ocasião 100 produces de companya de companya com son produzir su pro Para esta edição as versões em inglês e em francês foram preparadas pelo CCU, em colaboração com o BIPM.

A 22ª CGPM decidiu, em 2003, seguindo uma decisão do CIPM de 1997, que "o simbolo para o separador decimal deve ser o ponto ou a vírgula sobre a linha". De acordo com esta decisão, e seguindo o hábito das duas linguas, nesta edição, no texto em inglês é usado o ponto sobre a linha como separador decimal e, no texto em francês, é empregada a vírgula sobre a linha como separador decimal. Isto não tem implicação para a tradução do separador decimal em outras linguas. Um ponto a ser observado é a existência de pequenas variações de ortografia nos países de lingua inglesa (por exemplo, "metre "e "metre", "lite" e "liter"). Em relação a este ponto, o texto apresentado em inglês segue a Norma Intermacional ENO 31. Outantities and Units:

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

Marco de 2006

E. Göbel I. M. Mills A. J. Wallard

Presidente do CIPM Presidente do CCU Diretor do BIPM

O BIPM e a Convenção do Metro

O Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) foi criado pela Convenção do émero, assinada em Paris, em 20 de maio de 1875 por 17 Estados-, por ocasão da difitima sessão da Conferência Diplomática do Metro. Esta Convenção foi modificada degenitas, 38ge. 1979.

de 2005, 51 Estados eram membros desta Convenção: África do Sul, Alemanha, Argentina, Austrália, Áustria, Belgica, Brasil, Bulgária, Camarões, Canadá, Chile, China, Gingapura, República Bonular, Desperentias

Em 21 do dovombro

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

Apara Dethociario da Goreia, Dinamarca, República da Goreia, Dinamarca, República Dominicana, Egito, Espanha, Estados Unidos, Eslováquia, Finlândia, França, Holanda, Grécia, Hungria, Índia, Indonésia, Irá, Indonésia, Irá, Japão, Malásia, México, Nonueça.

Nova Zelândia, Paquistão, Polônia, Portugal, Reino

Unido, Romênia,

Rússia (Federação) .

- O BIPM tem por missão assegurar a unificação mundial das medições. Assim, é encarregado de:
- estabelecer os padrões fundamentais e as escalas para a medição das principais grandezas físicas e de conservar os protótipos internacionais;
- · efetuar a comparação de padrões nacionais e internacionais;
- · assegurar a coordenação das técnicas de medição correspondentes;
- efetuar e coordenar as medições das constantes físicas fundamentais relevantes para estas atividades.

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

sis constantes instan rundamentals ferevalues

Sevia e Montenegro,
Social, signa,
Regiblica Teheca,
Tallidad, Troptai,
Unquai e Venezueda.

Buttoridade da Conferência Geral de Pesos e e Medidas

Sevia e Montenegro,
Social, signa,
Regiblica Teheca,
Tallidad, Troptai,
Unquai e Venezueda.

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

- discutir e promover as ações necessárias para assegurar a disseminação e o aprimoramento do Sistema Internacional de Unidades (SI), forma moderna do Sistema Métrico:
- sancionar os resultados das novas determinações metrológicas fundamentais e adotar as diversas resoluções científicas de cunho internacional;
- tomar todas as decisões importantes concernentes ao orçamento, à organização Malta, Panamá, e ao desenvolvimento do BIPM.
- O CIPM é composto de 18 membros, cada um de um Estado diferente, atualmente reunindo-se todos os anos. A secretaria executiva desse Comité envia sos governos dos Estados Membros da Convenção do Metro um Relatório Anual sobre a situação administrativa e financeira do BIPM. A principal missão do CIPM é garantir a unificação mundial das unidades de medida, agindo diretamente ou submetendo pronosas à CCPM.

Vinte Estados e entidades econômicas são associados à CGPM: Belarus, CARICOM, COSta Rica, Croácia, Cuba, Equador, Eslovenia, Estônia, Hong Kong (China), Jamaica, Cazaquistão, Quênia, Ledônia, Etudas, Taitana, Malta, Panamá, Filipinas, Taiwan (China), Ucrânia e

Limitadas, inicialmente, às medidas de comprimento e de massa e aos estudos metrológicos relacionados com essas grandezas, as atividades do BIPM foram estendidas aos padrões de medidas elétricas (1927), fotométricas e radiométricas (1957), radiações ionizantes (1960), escalas de tempo (1988) e à química (2000). Para este fina, os laboratórios originais, construidos em 1876-78, foram ampliados em 1929. Novos edificios foram construidos em 1964-64, para os laboratórios da Seçcio de Radiações Ionizantes; em 1984, para os trabalhos sobre lasere em 1988, para biblioteca e escritórios. Em 2001, foi inaugurado um novo prédio para ofecias, acerdêrios e acutes (escritórios e la constituido de constituidos en 1965).

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

Em consequência du expansão das tarefas confiadas ao BIPM em 1927, o CIPM instituiu, com o nome de Comitês Consultivos, órgãos destinados a esclarecer as questões a ele submetidas para estudo e aconselhamento. Os Comitês Consultivos, que podem criar Grupos de Trabalho temporários ou permanentes para o estudo de assuntos específicos, são encarregados de coorderar os trabalhos internacionais efetuados nos seus respectivos campos e de propor ao CIPM as recomendações referentes 8 as puindades.

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

- Comitê Consultivo para Eletricidade e Magnetismo (CCEM), novo nome dado em 1997 ao Comitê Consultivo para Eletricidade (CCE) criado em 1927:
- Comitê Consultivo para Fotometria e Radiometria (CCPR), novo nome dado em 1971 ao Comitê Consultivo para Fotometria (CCP) criado em 1933 (entre 1930 e 1933 as questões sobre fotometria eram tratadas pelo CCE):
- 3. Comitê Consultivo para Termometria (CCT), criado em 1937;
- Comitê Consultivo para Comprimento (CCL), novo nome dado em 1997 ao Comitê Consultivo para Definicão do Metro (CCDM) criado em 1952:
- Comitê Consultivo para Tempo e Frequência (CCTF), novo nome dado em 1997 ao Comitê Consultivo para a Definição do Segundo (CCDS) criado em 1956.
- 6. Comitê Consultivo para Radiações Ionizantes (CCRI), novo nome dado em 1997 ao Comitê Consultivo para Padrões de Radiações Ionizantes (CCENRI) criado em 1958 (em 1969, esse Comitê instituti quatro seções: seção I (Raios x e γ, elétrons), seção II (Medição de radionuclideos), seção III (Medição de nêutrons), seção IV (padrões de energia t0); esta última seção foi exinta em 1975 e suas atividades foram confladas à seção ID:

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

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

- · Comptes-Rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures:
- Procès verbaux des séances du Comité international des poids et mesures
- O CIPM decidiu em 2003 que os relatórios das sessões dos Comitês Consultivos não mais seriam impressos, e, sim, colocados em seu idioma original no site do BIPM
- O BIPM também publica monografias sobre assuntos específicos da metrologia e, sob o título Le Système international d'unités SI, uma publicação, atualizada periodicamente, reunindo todas as decisões e recomendações referentes às unidades.

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

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

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

1 Introdução

1.1 Grandezas e unidades

O valor de uma grandeza é geralimente expresso sob a forma do produto de um número por uma unidade. A unidade é apenas um exemplo específico da grandeza em questão, usada como referência. O número é a razão entre o valor da grandeza com questão, usada como referência. O número é a razão entre o valor da grandeza considerada e a unidade. Para uma grandeza específica, podemos utilizar intimeras unidades diferentes. Por exemplo, a velocidade v de uma partícula pode ser expressa sobre a forma v = 25 m/s = 90 km/h, onde o metro por segundo e o kilometro por hora são unidades alternativas para expressar o mesmo valor da grandeza velocidade. Todavia, como é importante se dispor de um conjunto de unidades bem definidas, universalmente reconhecidas e fáceis des sociedade, as unidades escolhidas devem ser acessíveis a todos, supostas constantes no temos, e no espacor e fáceis de estáges que ser no uma exatidado elevada.

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

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

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

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

V node ser evnesses om funcio das grandezas distância percorrida x e a duração de percurso f nor meio da equação: Na majoria dos sistemas de grandezas e de unidades a distancia Y e o tempo t são considerados como grandezas de base, para as quais se node escolher como unidades de base o metro (símbolo m) e

o eomindo (eímbolo e)

A velocidade y é, então,

grandeza derivada cuia

unidade é o metro por segundo (símbolo m/s).

Por exemplo, em

A grandeza velocidade

eletroquímica, a mobilidade elétrica de um íon. U é definida como a relação entre sua velocidade V e a intensidade do campo elátrico $E \cdot \mu - \nu / E$ A unidade derivada de mobilidade elétrica é, então, dada por meio da fórmula: (m/s)/(V/m)*m2 V4 s4. e node ser facilmente unidades de base escolhidas (V é o símbolo do volt.

unidade derivada no SD.

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

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

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

O nome Sistems Internacional de Unidades e a abreviatura SI, foram estabelecidos, nela 11t CGPM om 1960

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

A emucio que relaciona a forca Eà massa m e à partícula: F = ma . e a cinética T de uma particula em movimento à velocidade v: T = my2/2 são exemplos de equações de grandezas utilizadas com o SI

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

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

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

^{**} Para designar vetores são usados símbolos em negrito.

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

e a equação correspondente da força magnética exercida entre dois segmentos de fios elétricos finos, percorridos por correntes elétricas i_1dl_1 e i_2dl_2 é expressa nela equação:

$$d^{2} \mathbf{F} = \frac{\mu_{0}}{4\pi} \frac{\mathbf{i}_{1} d\mathbf{I}_{1} \times (\mathbf{i}_{2} d\mathbf{I}_{2} \times \mathbf{r})}{\mathbf{r}^{3}}$$

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

1.3 Dimensão das grandezas

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

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

Grandezas de base e dimensões utilizadas no SI

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

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

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

onde os expoentes α , β , γ , δ , ϵ , ζ e η , que são em geral números inteiros pequenos, positivos, negativos ou zero, são chamados de expoentes dimensionais. A informação formecida pela dimensão de uma grandeza derivada sobre a relação entre essa grandeza e as grandezas de base é a mesma informação contida nas unidades SI para a grandeza derivada, ela mesma sendo obtida como o produto de porências das unidades de base do SI.

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

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

Os símbolos das dimensões e os expoentes são tratados segundo regras comuns da álgebra. Por exemplo, a dimensão da área se escreve L²; a dimensão da velocidade LT⁴; a dimensão da força LMT⁴; e a dimensão da energia L'MT⁸.

capitulo 5).

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

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

for exemplo, o um maio à dafinido como cando a ralacio outes a colonidada da luz no vácuo e a contract de de des nesse meio: é a relacio entre duac acadores do masmo grandeza adimensional

Outros exemplos de grandezas sem dimensão são: ângulo plano fracio missica permissividade relativa

nemeabilidade rolation o finum do uma cavidade Fabry-D.z.

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

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

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

Algumas unidades derivadas coerentes do SI recebem nomes especiais, para simplificar sua expressão (ver 2.2.2, pág. 29). É importante enfatizar que cada grandeza física possui apenas uma unidade SI coerente, mesmo que essa unidade kg m² s² para energia possa ser expressa em diferentes formas usando alguns nomes especiais e símbolos. A recíproca, entretanto, não é verdadeira: em alguns casos, a mesma simbolo I. Por unidade SI pode ser usada para expressar os valores de várias grandezas diferentes. (ver pág. 30).

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

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

Por exemplo, a combinação particular das unidades de base recebeu o nome especial ioule . definição J = kg m² s²

O comprimento de é em geral expresso em nanometros, nm. Londres e Paris é. geralmente, expressa

considerado como unidade de base do SI. Os múltiplos e submúltiplos do kilograma são formados adicionando-se os nomes dos prefixos ao nome da unidade "grama" e os símbolos dos prefixos ao símbolos da unidade "g" (ver 3.2, pág.35). Assim, 10° ko se escrete um militorama ma e não microbilograma uka

O conjunto completo das unidades SI compreende o conjunto das unidades corentes e os múltiplos e submúltiplos dessas unidades, formadas pela combinação das unidades com os prefixos SI. Ele é designado pelo nome de conjunto completo des unidades XI, ou simplesmente unidades XI, ou unidades do SI. Note, entretarto, que os múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI não formam um conjunto correpto submúltiplos decimais das unidades do SI não formam um conjunto correpto.

O metro por segundo, símbolo m/s, é a unidade SI cocrente de velocidade. O kilometro por segundo, km/s, o centimetro por segundo, cm/s, e o milimetro por segundo, cm/s, e o milimetro por segundo, cm/s, são também unidades SI, mas não são unidades SI, cocrentes.

1.5 As Unidades SI no quadro da relatividade geral

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

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

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

1.6 Unidades de grandeza que descrevem efeitos biológicos

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

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

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