

I. M. ROZENBERG

henry volt kelvin ohm pascal becquerel henry volt

10^7 H.m^{-1} 2,997 924 58x10⁸ m.s⁻¹ 2,241 438x10⁻² m³.mol⁻¹ 4x10⁻⁷ H.m⁻¹ 2,997

adomb hertz newton joule ampère watt coulomb hertz

$\text{J}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 1,602 19x10⁻¹⁹ C 6,022 52x10⁻²³ m 8,314 3 J.K⁻¹ mol⁻¹ 1,602

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

3.ª edição

$\text{J}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 1,602 19x10⁻¹⁹ C 6,022 52x10⁻²³ m 8,314 3 J.K⁻¹ mol⁻¹ 1,602

J F A K Ix C H/m=H.m⁻¹ H cd Wb W.m Im var J F A K

92 458 273,16 9 192 631 770 273,16 299 792 458 273,

henry volt kelvin ohm pascal becquerel henry volt

10^7 H.m^{-1} 2,997 924 58x10⁸ m.s⁻¹ 2,241 438x10⁻² m³.mol⁻¹ 4x10⁻⁷ H.m⁻¹ 2,997

adomb hertz newton joule ampère watt coulomb hertz

$\text{J}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 1,602 19x10⁻¹⁹ C 6,022 52x10⁻²³ m 8,314 3 J.K⁻¹ mol⁻¹ 1,602

J F A K Ix C H/m=H.m⁻¹ H cd Wb W.m Im var J F A K

INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA

henry volt kelvin ohm pascal becquerel henry volt

I.M. ROZENBERG

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES – SI

3.^a edição

INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA
SÃO PAULO, 2006

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Rozenberg, Izrael Mordka

O Sistema Internacional de Unidades - SI / I.M. Rozenberg. —
3.^a ed. rev. e ampl. —
São Paulo : Instituto Mauá de Tecnologia, 2006

1. Sistema Internacional de Unidades I. Título

06-7175

CDD-389.15

Índices para catálogo sistemático:

SI : Sistema Internacional de Unidades : Metrologia	389.15
Sistema Internacional de Unidades : Metrologia	389.15

NOTA DO AUTOR

O Sistema Internacional de Unidades - SI foi oficialmente adotado no Brasil em 29 de agosto de 1962, por ato do extinto Instituto Nacional de Pesos e Medidas em cumprimento da Lei n.º 4041, posteriormente complementada pelo Decreto-Lei n.º 2041/67. Com a entrada em vigor desses diplomas básicos da moderna legislação metrológica brasileira, as unidades do SI passaram a ser as únicas de uso legal no País, de utilização obrigatória e exclusiva, com a previsão de várias penalidades aos seus infratores.

Decorridos mais de 40 anos desde a sua adoção formal, com o seu emprego previsto nas mais variadas atividades praticadas no País, tais como as comerciais, agropecuárias, industriais e científicas, entre tantas outras, o SI continua em nosso meio – exceto nos segmentos acadêmicos e tecnológicos – sendo largamente ignorado, certamente por falta de sua maior divulgação pelos organismos competentes. Para constatá-lo, basta observar os inúmeros e graves delizes cometidos pelos veículos de comunicação da nossa mídia, no que tange à nomenclatura e simbologia das unidades de medida das grandezas corriqueiras, as menos desconhecidas do grande público não iniciado em ciências.

Cabe, todavia, reconhecer que a difusão do conhecimento desse Sistema, não só na comunidade em geral, como até no próprio meio técnico-científico, constitui um processo longo mesmo nos países mais desenvolvidos e industrializados. Com esta publicação, o Instituto Mauá de Tecnologia prossegue no seu intuito de, embora modestamente, contribuir para essa difusão no meio em que atua.

O SI não é fruto de uma convenção perene. As definições, relações e simbologia por ele adotadas estão sujeitas a alterações determinadas pelo progresso da metrologia decorrente dos avanços da ciência e da tecnologia. Nesta publicação, em sua 3.ª edição, as unidades SI relacionadas obedecem ao contido na brochura “Sistema Internacional de Unidades” editada, em 2003, pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, órgão oficial encarregado de manter atualizado o “Quadro de Unidades de Medida” desse Sistema.

I.M.R.
Setembro de 2006

SUMÁRIO

Prefácio

Prefácio da 2.^a edição

Prefácio da 1.^a edição

Apresentação

1 – Breve Histórico

2 – O Sistema Métrico Decimal

3 – As Unidades de Medida no Brasil

4 – Os Precursors do Sistema Internacional

5 – O Sistema Internacional de Unidades

5.1 – As Classes de Unidades do SI

5.1.1 – Unidades de Base

5.1.2 – Unidades Derivadas

5.1.3 – Unidades Suplementares

5.2 – Múltiplos e Submúltiplos Decimais de Unidades SI

5.3 – Prescrições para a Expressão Correta dos Números, Nomes e Símbolos das Unidades

5.3.1 – Grafia dos Nomes das Unidades

5.3.2 – Plural dos Nomes das Unidades

5.3.3 – Grafia dos Símbolos de Unidades e Prefixos

5.3.4 – Grafia dos Números

5.3.5 – Espaçamento entre Números e Símbolos

6 – O Uso de Unidades “Não SI”

6.1 – Unidades de Utilização Admitida em Conjunto com as SI, Sem Restrição de Prazo

6.2 – Unidades de Utilização Permitida em Caráter Temporário

6.3 – Unidades de Utilização Admitida em Casos Muito Especiais

6.4 – Unidades de Utilização Formalmente Desaconselhada

6.5 – Unidades de Uso Freqüente embora Desaconselhado

QUADROS

- Quadro n.º 1 Unidades Derivadas sem Nomes Especiais
- Quadro n.º 2 Unidades Derivadas com Nomes especiais, Expressas em Unidades de Base ou Não
- Quadro n.º 3 Unidades Derivadas Expressas em Outras com Nomes Especiais
- Quadro n.º 4 Unidades Derivadas Expressas com Emprego de Unidades Suplementares
- Quadro n.º 5 Prefixos SI
- Quadro n.º 6 Quadro Geral de Unidades do Sistema Internacional
- Quadro n.º 7 Unidades “Não SI” de Utilização Admitida em Conjunto com o SI sem Restrição de Prazo
- Quadro n.º 8 Unidades “Não SI” de Utilização Admitida em Caráter Temporário
- Quadro n.º 9 Unidades “Não SI” de Utilização Admitida em Casos Muito Especiais
- Quadro n.º 10 Unidades de Utilização Formalmente Desaconselhada
- Quadro n.º 11 Conversão para o SI de Algumas Unidades Antigas e Outras de Utilização Mais ou Menos Freqüente, Embora Desaconselhada
- Quadro n.º 12 Valores de Algumas Constantes Físicas Expressos em Unidades SI
- Quadro n.º 13 Unidades Cujos Nomes Derivam de Nomes Próprios - Unidades SI
- Quadro n.º 14 Unidades Cujos Nomes Derivam de Nomes Próprios - Unidades “Não SI”
- Quadro n.º 15 Algumas Unidades Britânicas e Americanas
- Bibliografia

PREFÁCIO

O Instituto Mauá de Tecnologia - IMT publica a terceira edição do livro “O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI” de autoria do Professor Izrael Mordka Rozenberg.

A primeira edição, em 1998, teve uma tiragem de 7.000 exemplares e a da segunda edição, em 2002, foi de 7.500 exemplares. A distribuição gratuita dos exemplares aos ingressantes nos cursos do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia - CEUN-IMT e às bibliotecas das escolas de engenharia e tecnologia cadastradas no Ministério de Educação, bem como, aos órgãos governamentais e às associações atuantes nas áreas de ciência e tecnologia, objetiva disseminar o emprego correto do sistema de unidades adotado, por lei, no Brasil. A distribuição continuará sendo feita, gratuitamente, com o mesmo objetivo.

Como ressaltado no prefácio da primeira edição, o autor se esmera no cuidado e precisão ao estabelecer definições e conceitos. Nesta edição o Professor Rozenberg acrescenta observações relevantes sobre o assunto e incorpora as últimas decisões constantes da 8.ª edição da publicação “Sistema Internacional” do INMETRO, editada em 2003. O quadro geral de unidades do Sistema Internacional, constante do quadro n.º 6, está conforme as novas decisões do INMETRO.

O livro não se limita ao sistema internacional de unidades, apresenta também um histórico do desenvolvimento de padrões e técnicas de medidas de grandezas desde a antiguidade. Unidades fora do sistema internacional, unidades antigas e unidades em desuso ou de utilização admitida em casos especiais, são apresentadas em tabelas com os respectivos fatores de conversão para o SI. Assim, o autor coloca à disposição dos usuários um instrumento útil a quem se depara com unidades antiquadas, extravagantes ou de uso local.

O Instituto Mauá de Tecnologia, fiel ao compromisso de cultivar a excelência no ensino e na pesquisa, mantém, com esta edição, sua ação de disseminar conhecimentos nas áreas de tecnologia e de gestão.

São Paulo, 4 de setembro de 2006

Otávio de Mattos Silvares
Reitor do CEUN-IMT

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

PREFÁCIO DA 2.^a EDIÇÃO

O Instituto Mauá de Tecnologia – IMT – publica a segunda edição da obra do Prof. Izrael Mordka Rozenberg sobre o **Sistema Internacional de Unidades – S.I.**.

A primeira edição, com uma tiragem de 7.000 exemplares e datada de 1998, foi distribuída a docentes e alunos matriculados na Escola de Engenharia Mauá, a bibliotecas de todas as escolas de engenharia e de tecnologia do país cadastradas no Ministério de Educação e algumas no exterior, a associações de classe e a órgãos governamentais envolvidos com as áreas de ciência, tecnologia, a órgãos de fomento, ao INMETRO, a editorias de órgãos de imprensa, a empresas com que o Instituto se relaciona e a todos interessados que solicitaram o envio de exemplares.

Com esta ampla distribuição gratuita o Instituto Mauá de Tecnologia divulga o sistema internacional de unidades bem como a evolução histórica dos sistemas de expressão de medidas.

Nesta segunda edição o Prof. Rozenberg, fiel à busca de precisão que caracteriza sua ação, repara pequenas incorreções de impressão observadas na primeira edição, e enriquece a obra com mais e interessantes notas históricas sobre as unidades de medidas.

O Instituto Mauá de Tecnologia e as unidades que o compõe: o Centro Universitário e o Centro de Pesquisas, procurarão intensificar a divulgação deste conhecimento tão relevante para a prática da comunicação técnica. Esta ação é parte do compromisso estatutário do IMT de promover e contribuir com o desenvolvimento sócio-econômico do país.

São Caetano do Sul, 18 de janeiro de 2002

Otávio de Mattos Silvares
Reitor do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

PREFÁCIO DA 1.^a EDIÇÃO

O Instituto Mauá de Tecnologia lança a primeira edição do trabalho do Prof. Izrael Mordka Rozenberg sobre o Sistema Internacional de Unidades - SI.

Professor Rozenberg, engenheiro químico e professor universitário, ensinou na Escola de Engenharia Mauá desde sua fundação em dezembro de 1961. Foi durante 10 anos seu Diretor e desde 1973 responde pela Superintendência do Instituto Mauá de Tecnologia, entidade mantenedora da Escola de Engenharia Mauá.

O trabalho que ora vem a público trata do Sistema Internacional de Unidades mas não se limita a ele. O autor traça um histórico sobre a evolução dos sistemas de medição desde a Antigüidade até os dias presentes. Relata também a experiência brasileira desde as Ordенаções Manuelinas e Filipinas do século XVII.

Na Antigüidade, as necessidades do homem limitavam-se às medições de comprimento, área, volume, tempo e massa. Hoje, o conhecimento humano atinge tal nível de desenvolvimento científico e tecnológico que requer um enorme número de grandezas a serem medidas e consequentemente muitas unidades para poder exprimi-las.

Do infinitísmo do espaço intra-atômico ao infinito do espaço sideral, tempos, grandezas geométricas, elétricas, magnéticas, mecânicas, térmicas, ópticas, fotométricas e radiativas são determinadas, informadas e transmitidas por pessoas, empresas e países com velocidades cada vez maiores, numa linguagem universalizada e precisa, da qual o Sistema Internacional de Unidades é parte.

O texto do Prof. Rozenberg é objetivo, cuidadoso e preciso. Como um espelho, reflete seu autor. Professor ilustre de muitas gerações de engenheiros, preocupado em bem interpretar os fatos, definir os conceitos e estabelecer, com clareza, os limites de aplicação das leis

I. M. ROZENBERG

fundamentais da Física, da Química e de suas relações matemáticas, ele transcende estas fronteiras e transporta, para as outras áreas de sua proficiente atuação profissional, a mesma preocupação com a exatidão das definições e conceitos e a clara interpretação dos princípios e das normas que regem as relações entre as pessoas, os organismos e as instituições.

O leitor deste volume certamente encontrará de forma objetiva respostas às questões que freqüentemente surgem sobre o assunto.

Com satisfação a Escola de Engenharia Mauá acolhe e divulga mais este trabalho do ilustre Prof. Rozenberg.

São Caetano do Sul, 8 de janeiro de 1998

Otávio de Mattos Silvares
Diretor da EEM

APRESENTAÇÃO

A idéia de editar esta publicação nasceu do desejo do Instituto Mauá de Tecnologia-IMT, de difundir em sua comunidade — os corpos docentes e discentes de suas Escolas de Engenharia Mauá, Escola de Administração Mauá e Centro de Educação Continuada em Engenharia e Administração e, ainda, o corpo técnico do Centro de Pesquisas, integrando mais de 4 000 pessoas — bem como entre outros eventuais interessados, o Sistema Internacional de Unidades-SI, título que identifica o tema central deste trabalho.

Incumbidos de redigi-la, apressamo-nos a solicitar ao Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO, a devida autorização para reproduzir o Quadro Geral de Unidades por ele publicado, ainda em 1988, mesmo porque era, então, nossa intenção a de, ao citado Quadro, acrescentar apenas alguns poucos comentários e adendos de caráter explicativo a propósito dos dados nele resumidos.

Sucede contudo que, recebida a referida autorização, após nova reflexão e à medida que avançava a redação do trabalho que nos havia sido cometido, julgamos que a ele deveria ser dada uma extensão um pouco maior que a inicialmente prevista, com a adição de algumas informações, às vezes detalhadas, da origem e dos porquês das definições dadas às unidades integrantes do Sistema Internacional, sem olvidar, totalmente, referências a outras unidades que, de adoção anterior à do SI, ainda continuam sendo largamente utilizadas.

Pretender ressaltar a importância do tema aqui tratado é desnecessário mesmo porque há muito que o assunto relativo no domínio da Metrologia transbordou, pelo menos em alguns casos mais corriqueiros, da linguagem às vezes árida da literatura técnico-científica para ser incorporada ao quotidiano do homem comum, embora nem sempre com a indispensável precisão.

I. M. ROZENBERG

“O homem é o animal que mede”, dizia o Engenheiro Paulo Sá ⁽¹⁾, em 1964, quando Diretor do Instituto Nacional de Pesos e Medidas-INPM, órgão do Ministério da Indústria e Comércio que precedeu no Brasil, o atual INMETRO. De fato: para comprová-lo basta atentar para as observações e atos rotineiros de um simples motorista que, após descer num elevador do edifício em que reside, no qual uma placa afixada na parede da cabina alerta o passageiro sobre a carga máxima por ele suportada, assume o volante do seu automóvel. No painel do veículo, o hodômetro assinala a distância por ele percorrida entre dois “pontos” de sua trajetória, o velocímetro indica, a cada instante, a velocidade do veículo, o amperímetro assinala a intensidade da corrente elétrica suprida pela bateria ao circuito elétrico do automóvel, o termômetro acusa a temperatura da água de arrefecimento do motor, o tacômetro assinala a velocidade angular da rotação do “motor”, ou mais precisamente, do virabrequim, o indicador de combustível informa sobre o volume de combustível existente no tanque, enquanto o relógio lhe fornece a duração de sua corrida. Ao ligar o rádio do automóvel, o motorista sintoniza uma estação emissora, identificando-a no dial pela freqüência ou comprimento de onda do sinal por ela emitido e, ao parar num posto de abastecimento, lê no painel da “bomba” o volume de combustível adquirido, enquanto um frentista aciona um manômetro que assinala a pressão do ar na calibragem dos pneus e indaga sobre a viscosidade do óleo que deverá verter no cárter.

Com a expansão das relações internacionais entre países dos cinco continentes, ocorrida principalmente a partir da segunda metade deste século 20, mostrou-se indispensável a adoção entre eles, se não universal, pelo menos internacionalmente, de um sistema de unidades bem definidas que permitissem estabelecer e manter um sistema ágil de comércio e trocas de informações, particularmente de natureza técnica e científica, inclusive com a padronização dos produtos negociados no mercado internacional.

(1) Paulo Accioly de Sá, diretor do Instituto Nacional de Pesos e Medidas de 1962 a 1968.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

Nasceu assim o Sistema Internacional de Unidades, conhecido pela sigla SI, que nas palavras de J. Terrien, ex-Diretor do Bureau International des Poids et Mesures, reproduzidas em 1971 em publicação editada pelo então Instituto Nacional de Pesos e Medidas, tem “uma linguagem, com suas definições, sua ortografia, suas regras gramaticais e de sintaxe”. Dos muitos sistemas que poderiam ser propostos com os objetivos visados, “é o mais universal, o mais completo, mas é preciso utilizá-lo corretamente.”

Com efeito: a organização do SI e as recomendações pertinentes à utilização das unidades e símbolos que o integram, visam precípuamente estabelecer uma nomenclatura e simbologia uniformes, através das quais se pretende conseguir um entendimento comum e uma clara compreensão entre os povos que, pelo menos no domínio da metrologia, procuram praticar uma linguagem comum ou harmônica.

Conforme assinalado linhas atrás, esta publicação visa difundir entre os interessados este sistema de unidades cuja importância nos anos que marcam os últimos do século 20 é, certamente, tão ou mais marcante que a ressaltada há mais de 25 anos por J. Terrien. Como tal, este livrete nada poderia conter de inédito. Quando muito, poder-se-á creditar a este trabalho uma certa dose de originalidade na apresentação do tema abordado.

É de crer que com esta publicação o IMT esteja prestando uma valiosa ajuda não só à sua comunidade como ainda aos que laboram na área técnica, nas instituições de ensino, na indústria, e também no comércio, visando tão somente contribuir para a melhor e maior divulgação dos conhecimentos metrológicos entre aqueles que os têm como indispensáveis.

O Instituto Mauá de Tecnologia, editor deste livrete, e o responsável pelo seu texto, sentir-se-ão plenamente recompensados se for atingido o objetivo de sua publicação e agradecidos, se vierem a receber as críticas construtivas e sugestões visando ao aperfeiçoamento de eventuais futuras edições deste trabalho.

Izrael M. Rozenberg

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

1 - BREVE HISTÓRICO

Em sua origem, perde-se na história da Antigüidade a preocupação do homem com a medição e a construção dos instrumentos de medida das grandezas que, em número crescente e aos poucos, foram se tornando objeto de seu interesse ou curiosidade. Mas, se de um lado é muito difícil identificar na história das civilizações a época em que o homem começou a medir, de outro, é razoável admitir que as primeiras grandezas cujas medições foram por ele realizadas tenham sido o comprimento, o volume, a massa (por muitos e muitos séculos confundida com o peso) e, obviamente, o tempo, cujo transcorrer, já nas mais antigas civilizações, era avaliado pelo periodismo dos movimentos da Lua e (aparente) do Sol ao redor da Terra.

As unidades de comprimento utilizadas no passado — desde milhares de anos antes da era cristã até mesmo os princípios do século 20 — variáveis de um lugar para o outro e de uma para outra época, tinham geralmente algo em comum: baseavam-se quase sempre nas dimensões de partes do corpo humano, padronizadas pelos comprimentos do seu pé, polegar, palmo, braço, mão, dedo etc.

Uma das unidades mais antigas de medida de comprimento, de que se tem notícia, é o “cúbito” ou “côvado” utilizado no velho Egito há cerca de 50 séculos e definido pelo comprimento do braço medido do cotovelo à extremidade do dedo médio distendido. Essa unidade era materializada por um padrão — o “cúbito real” — gravado numa placa de granito, em relação ao qual eram aferidas as numerosas réguas ou barras representativas dos “cúbitos” espalhados pelo reino. O cúbito real (equivalente a pouco mais de 0,5m) tinha vários submúltiplos definidos de uma forma certamente vista como complicada, ou pelo menos estranha, por quem está habituado ao uso do sistema decimal para definir os submúltiplos de uma unidade de medida. O cúbito era subdividido em 28 “dedos”, cada um deles representando a largura de um dedo da mão de um homem. Cinco dedos constituíam a “mão” e doze dedos formavam

I. M. ROZENBERG

um “vão”. O primeiro dos “dedos”, contado a partir de uma das extremidades da escala que continha gravado o “cúbito”, era subdividido em 2 partes iguais; o segundo era subdividido em 3 partes iguais, o terceiro em 4, e assim por diante até o décimo quinto que continha 16 subdivisões, cada uma das quais era entendida como a menor subunidade de comprimento. Assim, um cúbito continha $28 \times 16 = 448$ dessas subdivisões e permitia a medida de comprimentos de, no mínimo, $1/448$ do “cúbito” (pouco mais de 1 milímetro).

Para a medida de “pesos” (na realidade, “massas”) os egípcios da era dos faraós utilizavam uma unidade denominada “*kite*”, padronizada igualmente por um bloco de granito. A essa unidade, cuja magnitude ao longo da história variou entre 4,5 g e 30 g, aproximadamente, eram associadas algumas outras múltiplas de 10. Por exemplo: 10 *kites* equivaliam a 1 “*deben*”, 10 *debens* representavam 1 “*sep*”, e assim por diante. Não obstante, há também a hipótese de que alguns pequenos blocos cilíndricos de base côncava encontrados no túmulo de Amreh, de massa aproximadamente igual a 13 gramas teriam sido utilizados, há mais de 50 séculos, como padrões de “peso”.

Quando se tratava de medir grandes volumes, os egípcios recorriam ao “cúbito cúbico” (equivalente a cerca de 140 litros) e a outras unidades, como o “*hin*” e o “*khar*” para a medição de volumes menores.

Para a medida de tempo, com fundamento na sucessão periódica dos dias e noites, os antigos já adotavam a duração do “dia” que, desde as mais antigas civilizações pré-cristãs era subdividido em 24 horas, cada uma de 60 minutos e cada minuto de 60 segundos não obstante a indisponibilidade de instrumentos para a medição de breves intervalos de tempo.

Na história dos povos antigos registra-se o uso de centenas se não milhares de unidades diferentes pelos babilônios, fenícios, hebreus, gregos e romanos, algumas delas emprestadas ou baseadas nas adotadas pelos egípcios. Numerosas outras, de emprego muito regio-

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

nalizado, tiveram seu uso registrado, às vezes mui vagamente, ao longo dos quase 20 séculos da era cristã. Entre as que chegaram ao conhecimento do homem atual, particularmente no Ocidente, citem-se, a “jarda”, o “pé”, a “polegada”, a “libra”, a “onça” etc., unidades cujas definições, e portanto magnitudes, variavam de uma região para outra.

Várias tentativas de uniformizar as unidades de pesos e medidas adotadas em diferentes lugares, como a feita por Carlos Magno no início do século 9 da era cristã, visando principalmente facilitar o intercâmbio comercial entre os povos da Europa e do Oriente Médio, tiveram como resultado apenas o fracasso, motivado, quando não por outras razões menores, pelo desejo “nacionalista” de cada um deles de impor, aos outros, suas próprias unidades.

Em princípios do século 13, na Inglaterra, um decreto real sobre “Padrões de Pesos e Medidas” definiu um conjunto extenso de unidades e padrões prescrito para utilização no reino e que nele acabou sendo adotado por cerca de seis séculos. Data de então a introdução da “jarda padrão” (*standard yard*) como a “jarda de ferro do nosso soberano o Rei”. A jarda, subdividida em 3 “pés” e cada pé em 12 “polegadas”, teve sua definição reformulada em 1878 quando passou a ser entendida como a “distância, à temperatura de 62 graus Fahrenheit, entre os centros de dois pinos de ouro fixos numa barra padrão de bronze apoiada sobre dois roletes, igualmente de bronze, de maneira a impedir a flexão da barra”.

Sem a pretensão de insistir na citação da enorme variedade de unidades adotadas ao longo do tempo em diferentes lugares da Terra — inclusive no Brasil — muitas vezes com o mesmo nome, mas de magnitudes diferentes de um lugar para outro, é interessante lembrar que até o início da década de 1970, num país com o desenvolvimento econômico, científico, técnico e cultural dos Estados Unidos, como também em outros de língua inglesa, adotavam-se, ainda, com o mesmo nome genérico “pound” (libra, em português), três unidades de massa, nem sempre equivalentes com as homônimas empregadas na Inglaterra:

I. M. ROZENBERG

- a) o “*pound avoirdupois*” (libra), para pesagens comerciais comuns (equivalente a cerca de 0,453kg) subdividido em 16 “onças” de 437,5 “grãos” cada uma e totalizando, portanto, 7 000 grãos;
- b) o “*pound troy*” (libra troy), destinado à pesagem de metais e pedras preciosas (equivalente a aproximadamente 0,373kg), subdividido em 12 “onças troy” de 480 “grãos” e totalizando, assim, 5 760 grãos;
- c) o “*pound apothecaries*” (libra dos boticários) para a pesagem de drogas e produtos farmacêuticos (também equivalente a cerca de 0,373 kg), subdividido em 12 “onças apotecárias” cada uma destas constituída por 8 “dracmas”.

O assunto “unidades de medida”, cujo alcance no passado mais distante se limitava à medição das grandezas com que lida o homem comum (comprimento, área, volume, peso (massa), tempo e algumas poucas outras), com o advento das ciências físicas ganhou, a partir de fins do século 17, conotações mais amplas. É que, em consequência dos trabalhos de Galileo, Newton, Hooke, Huyghens, Boyle, Stevin, e muitos outros expoentes da ciência que a eles se seguiram, o número de grandezas a medir passou a se multiplicar rapidamente: velocidade, aceleração, intensidade de força, quantidade de movimento, pressão, temperatura, energia e, posteriormente, intensidade luminosa, luminância, capacidade elétrica, indutância, fluxo luminoso, aclaramento etc., surgiram como novas grandezas físicas cuja medição exigia a definição prévia de uma unidade para cada uma delas. A partir de então, com o reconhecimento da importância das medidas físicas no estudo dos fenômenos naturais, ganhou crescente convicção a necessidade da adoção universal de unidades bem definidas, indispensável à manutenção de um sistema internacional ou inter-regional de comércio e trocas de informações, particularmente de natureza técnica e científica. Um passo importante nesse sentido foi dado ainda em fins do século 18, com a criação do Sistema Métrico Decimal.

2 - O SISTEMA MÉTRICO DECIMAL

Uma das primeiras tentativas feitas no sentido de se estabelecer um sistema universal de unidades surgiu em meados do século 17, quando o padre Gabriel Mouton, vigário da Igreja de S. Paulo, de Lyon, França, sugeriu a adoção como unidade de comprimento o comprimento do arco de um meridiano terrestre subtendido, no centro da Terra, por um ângulo de 1' (um minuto), a ser subdividido decimalmente ⁽¹⁾. Não obstante seu conteúdo inovador, a sugestão de Mouton não frutificou e uma proposta algo semelhante só foi consagrada cerca de 150 anos mais tarde, quando, em 1790, em pleno período da Revolução Francesa, um dos mais proeminentes membros da Assembléia Nacional da França propôs o estabelecimento de um sistema de unidades, definidas com sólida base científica e despidas de qualquer conotação regionalista, e que poderia ser adotado universalmente. Basicamente, tratava-se de organizar um sistema de unidades a partir de algumas poucas definidas, por sua vez, com base em algumas grandezas invariáveis de caráter universal.

A proposta de criação de tal sistema partiu de Charles Maurice Talleyrand, personagem de destaque na história da França no período de transição entre os séculos 18 e 19 e, aprovada de imediato, produziu uma série de frutos no desenvolvimento das relações internacionais daquele país, no campo político e econômico.

Em face da decisão da Assembléia Nacional, um decreto do rei Luiz XVI entregou o estudo do assunto à Acadêmia de Ciências de Paris a qual, por sua vez, dele incumbiu uma Comissão Especial constituída por matemáticos, físicos, geômetras, cientistas enfim, visando à elaboração de um sistema geral e uniforme de unidades. Essa Comissão, da qual fizeram parte grandes expoentes da ciência francesa, como Borda,

(1) Admitindo para o meridiano terrestre o comprimento de, aproximadamente, 40×10^6 m, o comprimento do arco correspondente a 1' resulta igual a $40 \times 10^6 / 360 \times 60 = 1\ 851,8$ m, que é, também aproximadamente, o comprimento de 1 milha marítima.

I. M. ROZENBERG

Lagrange, Condorcet, Monge e Laplace, decidiu que o sistema em questão deveria seguir a lei decimal e ter como unidade básica uma unidade de comprimento a ser definida como fração do comprimento do meridiano terrestre. Essa unidade que, por sugestão de Borda, recebeu o nome “metro” (do latim “metru”) foi então, definida como o “comprimento de um décimo de milionésimo do comprimento de um quarto do meridiano terrestre (medido entre um pólo e o equador terrestre). Para determinar o comprimento desse segmento, medido sobre o meridiano passante por Dunquerque, na França, e Barcelona, na Espanha, foram designados os engenheiros Jean Delambre e Pierre Méchain. Dos trabalhos desses engenheiros resultou que o comprimento (médio) de um quarto do meridiano terrestre era de 5 130 740 “toesas” ⁽¹⁾.

A mesma Comissão propôs, também, a adoção de algumas poucas unidades de outras grandezas.

Assim, além da unidade de comprimento foram definidas:

- a) uma unidade de massa, o “quilograma” ⁽²⁾, como “a massa de um decímetro cúbico de água destilada, à temperatura em que sua densidade é máxima (4°C)”;
- b) uma unidade tempo, o “segundo” como $1/86\,400$ da duração do “dia solar médio” ⁽³⁾;

(1) A toesa aqui referida era uma unidade equivalente a 6 “pés”, hoje equivalente a 1,98 m, aproximadamente. Assim, o comprimento de um quarto do meridiano terrestre, então calculado, equivaleria a cerca de 10 158 865 metros.

(2) Ao que parece, a unidade de massa originalmente definida teria sido o “grama” — massa de um centímetro cúbico de água destilada, medido a 4°C — e apenas para a construção do padrão representativo da unidade ter-se-ia convencionado adotar a massa de 1 000 “gramas”. A ser verdadeira, esta versão explicaria a razão de o nome da unidade de massa (quilograma) conter o prefixo “quilo” designativo de “mil”.

(3) Originalmente, o “segundo” foi definido como a “duração de uma oscilação simples, em Paris, de um pêndulo de comprimento igual a 1 metro”.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

c) uma unidade de área: o “are”, como área de um quadrado cujo lado tem 10 metros de comprimento, e o “hectare”, um múltiplo do are, igual a 100 ares (portanto igual a 10000 mil metros quadrados), unidade ainda usada para a medida de áreas de terras utilizadas para fins agrícolas.

d) uma unidade de volume: o “estere”, igual ao “volume de um cubo cuja aresta tem 1 metro de comprimento”, para a medida de volumes de lenha e outras, bem como o “litro”, igual ao “volume de um cubo cuja aresta tem um comprimento igual a um décimo de 1 metro de comprimento”, para a medida de volumes de líquidos.

Das unidades assim definidas, a Comissão Especial determinou a construção de padrões representativos do “metro”, do “quilograma” e do “litro”. Para representar o “metro” foi construída uma barra de platina cujo comprimento, medido entre suas extremidades, deveria reproduzir, à temperatura do gelo fundente (0°C), o da unidade definida. O “quilograma” passou a ser representado por um cilindro, também de platina, cuja massa deveria ser igual a de 1 decímetro cúbico de água destilada, medido esse volume a 4°C .

Ao findar o século 18, com a apresentação feita por Laplace dos padrões do “metro”, “quilograma” e “litro”, e a listagem dos múltiplos e submúltiplos decimais dessas unidades, o Sistema Métrico Decimal foi definitivamente adotado pela França sob o lema “PARA TODOS OS POVOS E PARA TODOS OS TEMPOS”, inscrito numa medalha comemorativa mandada cunhar pelo governo da República Francesa para perpetuar a data dessa adoção: 2 de novembro de 1799.

Os padrões então construídos — que deveriam servir para aferição dos “padrões secundários” a serem distribuídos pelos países que viessem a adotar o Sistema Métrico Decimal — foram denominados “padrões dos arquivos”, porque depositados nos arquivos da França; sua vida não foi muito longa, por várias razões. A barra representativa do metro (“metro dos arquivos”), mesmo que utilizada apenas para aferir o comprimento dos padrões secundários, sofreria um desgaste nas

I. M. ROZENBERG

extremidades e, em consequência, a alteração do comprimento padrão. Além disto foram constatadas algumas imperfeições na construção da barra: seu comprimento era ligeiramente menor que o definido e, mais, uma imprecisão havia sido cometida no próprio cálculo do comprimento do meridiano terrestre que lhe servira como base de confronto, afora a dúvida levantada sobre a variação, com o tempo, do próprio comprimento do meridiano. Essas imprecisões e imperfeições, além de outras então apontadas, naturalmente afetavam os demais “padrões dos arquivos” cuja construção fora calcada no do “metro”.

Não obstante, o “Sistema Métrico Decimal” conquistou rapidamente a Europa continental, em grande parte devido à repercussão positiva alcançada pela Revolução Francesa, mesmo havendo um período apreciável de tempo de sobreposição no uso das novas e antigas unidades de medida, inclusive na própria França, graças a um decreto nesse sentido baixado por Napoleão Bonaparte.

Em 1875 foi realizada, em Paris, a “Conferência Diplomática do Metro” da qual participaram os representantes de vinte países inclusive o Brasil. Nesse conclave, além de definitivamente consagrado o Sistema Métrico Decimal com a assinatura da “Convenção Internacional do Metro”, foi criado o Bureau Internacional de Pesos e Medidas, a funcionar sob a fiscalização e direção de um órgão consultivo permanente, incumbido do trato dos assuntos de metrologia, a “Comissão Internacional de Pesos e Medidas (CIPM)”, cujas propostas deveriam ser — como de fato o são — submetidas à apreciação e decisão das futuras “Conferências Gerais de Pesos e Medidas (CGPM)” a se reunirem periodicamente, pelo menos uma vez a cada seis anos.

O “Bureau Internacional de Pesos e Medidas” tem por missão assegurar a “unificação mundial” das medidas físicas, cabendo-lhe: estabelecer os padrões fundamentais e das escalas das principais grandezas físicas, conservar os “protótipos internacionais”, efetuar a comparação dos padrões nacionais e internacionais e realizar e coordenar as determinações relativas às constantes físicas.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

Conseqüência imediata da criação desse Bureau International de Pesos e Medidas foi a decisão de, em face das antes apontadas imprecisões e imperfeições dos “padrões dos arquivos”, determinar a construção de novos padrões — os protótipos — que, embora com base nos anteriores, deveriam obedecer a algumas condições preestabelecidas: o do “metro” deveria ter a forma de uma barra com o perfil em X e ser do tipo “traço”, isto é, deveria ter gravados numa de suas faces dois traços paralelos, bastante finos, de modo que a distância entre eles fosse, tão aproximadamente quanto possível, igual ao comprimento do metro originalmente definido, enquanto o do “quilograma” deveria ser construído sob a forma de um cilindro reto. O material empregado na construção desses padrões deveria ser aquele que permitisse preservá-los contra a ação corrosiva da atmosfera. Como tal, a escolha recaiu sobre uma liga de platina (90%) e íridio (10%). Convencionado também foi que, independentemente das imprecisões que viessem a ocorrer na sua construção, o comprimento e a massa que esses protótipos viessem a ter, passariam a representar, por definição, o “metro” e o “quilograma”, respectivamente.

A 1.^a CGPM ⁽¹⁾, realizada em 1889, após examinar os padrões assim construídos, e considerá-los satisfazendo às recomendações anteriormente formuladas, sancionou-os como protótipos internacionais de comprimento e massa e confiou sua guarda ao Bureau International de Pesos e Medidas, sob cujos cuidados passaram a ser mantidos no Pavilhão de Breteuil, no Parque de Saint Cloud, em Paris.

(1) A CGPM é constituída pelos países-membros da Convenção do Metro (cerca de 50, atualmente, inclusive o Brasil) e reúne-se com intervalos de quatro a seis anos para tomar conhecimento e decidir sobre a contínua atualização e aperfeiçoamento da definição das unidades, que lhe são propostas pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas, CIPM, bem como sobre tudo que diga respeito à atualização dos valores das Constantes Físicas.

O CIPM, cujas reuniões costumam ser anuais, é constituído por 18 membros representantes de outros tantos países e tem a seu cargo a supervisão do Bureau International de Pesos e Medidas.

I. M. ROZENBERG

Em decorrência das decisões da 1.^a Conferência Geral de Pesos e Medidas (1.^a CGPM) passaram a vigorar as seguintes definições:

1 - O “metro” é o comprimento do protótipo internacional de comprimento, representado pela distância, a 0 °C, entre dois traços transversais gravados numa barra com secção transversal em forma de X, feita com uma liga de platina e irídio e guardada pelo Bureau Internacional de Pesos e Medidas, no Pavilhão de Breteuil, em Sèvres, Paris;

2 - O “quilograma” é a massa do “protótipo internacional de massa”, representado por um cilindro reto de cerca de 39 milímetros de diâmetro e também aproximadamente 39 milímetros de altura, constituído de uma liga de platina e irídio e guardado pelo Bureau Internacional de Pesos e Medidas, no Pavilhão de Breteuil, Sèvres, Paris;

3 - Mesmo porque não suscetível de ser materializada por um padrão, a unidade de tempo, o “segundo” teve sua definição original (1799) mantida: o “segundo é 1/86 400 da duração do dia solar médio” entendido este último como o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens (aparentes) consecutivas do Sol (médio) por um mesmo meridiano da Terra .

OBSERVAÇÃO - Para um observador que, da Terra e por noites seguidas, se põe a contemplar o céu, tudo se passa como se existisse uma esfera que a envolve e à qual parecem fixas as estrelas. Esta esfera fictícia de raio muito grande e indeterminado, que executa aparentemente um movimento ao redor da Terra, é denominada “esfera celeste”. O intervalo de tempo decorrido entre duas passagens (aparentes) consecutivas de uma dada “estrela fixa” pelo mesmo meridiano terrestre constitui o “dia sideral”. A “hora sideral” é o intervalo de tempo definido como 1/24 do dia sideral e que, por sua vez, dividida em 60 partes iguais define um “minuto de tempo sideral”. Um sessenta-avos do minuto sideral constitui o “segundo sideral”. Assim, o “segundo sideral” é o intervalo de tempo de duração igual a 1/86 400 do “dia sideral”.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

Quando, em vez do movimento (aparente) de uma estrela qualquer se adota, em particular, o do Sol, o “dia sideral” passa a ser denominado “dia solar”. Com isto, surgem as definições do “dia solar” como intervalo de tempo decorrido entre duas passagens consecutivas (aparentes) do Sol pelo mesmo meridiano terrestre, bem como as consequentes de suas frações: “a hora, o minuto e o segundo solares”.

Sucede que pelo fato de a Terra executar simultaneamente um movimento não rigorosamente uniforme ao redor do Sol (com um “período” denominado “ano”) e o de rotação ao redor do seu eixo (com um período denominado “dia”), bem como pela circunstância de o próprio Sol movimentar-se em relação a outras estrelas, a duração do “dia solar” é diferente da do “dia sideral”. De fato: se o Sol permanecesse aparentemente imóvel na esfera celeste, ele se comportaria em relação à Terra como qualquer outra “estrela fixa”, e o intervalo de tempo transcorrido entre duas passagens consecutivas do centro do Sol pelo mesmo meridiano terrestre seria idêntico ao de duas passagens consecutivas de qualquer outra estrela fixa e a duração do dia solar seria a mesma da do dia sideral. Mas, pelas razões já apontadas e, particularmente, pelo fato de o deslocamento do Sol na esfera celeste se dar no mesmo sentido da rotação da Terra, esta deverá descrever mais do que apenas uma rotação, para que o centro do Sol passe novamente pelo mesmo meridiano. Assim a duração do dia solar resulta algo maior (cerca de 4 minutos solares) que o dia sideral.

Em resumo: para um observador, situado na Terra, que assiste à sucessão dos dias e noites tudo se passa como se o Sol se movesse ao redor do globo terrestre no sentido do oriente (sol nascente) para o ocidente (sol poente). Esse movimento (aparente) do Sol não é uniforme e tampouco rigorosamente periódico. O “Sol Médio” é um Sol fictício que em seu movimento aparente ao redor da Terra, suposto uniforme, teria um período igual à média dos “períodos” registrados entre duas passagens consecutivas do Sol pelo mesmo meridiano terrestre.

O “ano sideral” intervalo de tempo em que a Terra completa uma revolução em sua órbita, equivale aproximadamente a 365,25 dias “solares médios”.

I. M. ROZENBERG

Em que pese a grande oposição à sua adoção, desencadeada principalmente pelos países de língua inglesa liderados pela Inglaterra, que se batiam pela universalização do “Sistema Imperial Britânico”, o Sistema Métrico Decimal acabou conquistando não só a Europa como também os Estados Unidos que legalizaram sua utilização por uma Lei de 1866 e aderiram à Convenção Internacional do Metro de 1875 e, alguns anos mais tarde, anunciaram que suas próprias unidades de comprimento e massa, a “jarda” e a “libra”, deveriam ser consideradas como derivados do “metro” e do “quilograma”, respeitadas as equivalências:

1 pé (foot) = 0,304 8 metros

1 polegada (inch) = 25,4 milímetros

1 jarda (yard) = 0,914 4 metros

1 libra (pound) = 0,453 592 quilogramas

1 galão (gallon) = 3,785 41 litros

Mas, em pleno início do século 21, nos países de língua inglesa continuam sendo utilizadas as antigas unidades embora as definições, por uma decisão do Parlamento da Inglaterra, de 1963, de todas as “unidades inglesas de pesos e medidas” devessem passado a ser referidas ao sistema métrico decimal. No quadro n.º 15 estão relacionadas algumas dessas unidades e suas equivalências em unidades do SI.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

3 - AS UNIDADES DE MEDIDA NO BRASIL

Como não poderia deixar de ser, as primeiras unidades de medida introduzidas no Brasil-Colônia foram as primitivas unidades portuguesas, muito mal definidas, com magnitudes e denominações desordenadas e bastante confusas, inclusive as de uso recomendado para a Metrópole e suas colônias. As questões relativas aos “pesos e medidas” eram reguladas pela legislação portuguesa, particularmente pelas Ordenações de D. Manoel, pelo Código Filipino e por uma série de sucessivos ordenamentos editados, principalmente, a partir dos fins do século 17. Não deixa de ser curioso que nas primeiras décadas de 1800, embora Portugal já tivesse adotado o Sistema Métrico Decimal, no Brasil aplicavam-se quase exclusivamente as antigas unidades de medida impostas por Portugal às suas colônias.

Deixando de lado as unidades mais antigas utilizadas no Brasil durante o período colonial, citam-se a seguir algumas unidades adotadas no País na época do Império.

a - Unidades de Comprimento

vara	= 1/36 366 265,45 do meridiano terrestre
palmo	= 1/5 de vara
polegada	= 1/8 de palmo
pé	= 12 polegadas
braça	= 2 varas
milha	= 841 3/4 braças
léguia	= 3 milhas

b - Unidades de Capacidades para “líquidos”

canada	= 128 polegadas cúbicas
quartilho	= 1/4 de canada
almude	= 12 canadas

I. M. ROZENBERG

c - Unidades de Capacidade para “secos”

alqueire	= “décimo de vara cubo multiplicado pelo número 27 1/4”
quarta	= 1/4 de alqueire
moio	= 60 alqueires

d - Unidades de “peso” (à época, confundidas com as de “massa”)

marco	= “pezo de água de chuva, ou de fonte, sendo pura, na temperatura de 28°C, e debaixo da pressão atmosférica de 31,1 polegadas inglesas ao nível do mar, contido no volume de 1/5,642 de um décimo de vara cubo, ou de 64 polegadas cúbicas he (é) o padrão de medidas de peso” ⁽¹⁾
onça	= 1/8 de marco = $28,68 \times 10^{-3}$ kg
oitava	= 1/8 de onça = $3,586 \times 10^{-3}$ kg
libra	= 2 marcos = 459×10^{-3} kg
arroba	= 32 libras = 14,688 kg
quintal	= 4 arrobas = 58,752 kg
arrátel	= 16 onças = 459×10^{-3} kg
tonelada antiga	= 13,5 quintais = 793,152 kg

Ainda com relação às antigas unidades de medida, vale mencionar como exemplo emblemático da confusão gerada pelo uso do mesmo nome — o “alqueire” para a unidade de diferentes grandezas (volume e área) e, às vezes da mesma grandeza e de magnitudes diferentes:

alqueire	= 1/6 de saco ou 1/60 de moio (= 13,8 litros)
alqueire	= 6 canadas = 0,5 almude (= 16 litros)
alqueire	= 15 625 palmos quadrados
alqueire do Norte	= 27 225 m ²

(1) Conforme José Luciano de Mattos Dias em “Medida, Normalização e Qualidade” publicada pelo Inmetro em 1998.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

alqueire em Minas Gerais	
e no Rio de Janeiro	≈ 80 litros
alqueire paulista	$= 24\ 200\ m^2$
alqueire mineiro	$= 48\ 400\ m^2$

Segundo referido em Boletim do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, de 1952, proclamada a independência do Brasil, a Regência, por decreto de 1833, tendo em vista “corrigir o estado caótico em que se encontrava o Brasil no terreno metrológico legal”, incumbiu uma Comissão Especial de elaborar um plano que, entre outros objetivos, deveria “melhorar o atual sistema de pesos e medidas em prática no Brasil e também pelo que respeita ao sistema monetário”. O relatório apresentado por essa Comissão concluía pela recomendação do uso, a ser oficializado pelo Governo Imperial, de várias unidades de medida, entre as quais a “vara” como unidade de comprimento e o “marco” como unidade de peso (mais precisamente, de massa, segundo conceituação e terminologia atuais). Da definição e oficialização por lei dessas unidades, como também de sua utilização, parece inexistirem registros históricos.

O assunto “unidades de pesos e medidas” ganhou particular destaque no País em 1862, ano em que o Imperador D. Pedro II levado pelo seu espírito progressista promulgou a Lei Imperial n.º 1 157 com a qual o Brasil passou a ser um dos primeiros países a adotar o Sistema Métrico Decimal. Essa lei, cuja aplicação foi delegada às municipalidades do Império, fixou o prazo de 10 anos para o abandono e substituição das unidades em uso até então e permaneceu em vigor por mais de 65 anos.

É interessante notar que o ato imperial que implantou o Sistema Métrico no Brasil, precedeu em 13 anos (!) a celebração da já referida Convenção Internacional do Metro realizada em 1875, à qual compareceu o Brasil, oficialmente representado pelo Visconde de Itajubá assessorado tecnicamente pelo General Morin — cujo nome é associado, nos compêndios de Física, à “máquina” por ele idealizada para o estudo experimental do movimento de queda de um grave.

I. M. ROZENBERG

Dez anos depois de determinar a adoção no Brasil do Sistema Métrico Decimal, portanto em 1872, D. Pedro II expediu as instruções regulamentadoras daquela medida, promovendo a importação e distribuição dos padrões e instituindo nas escolas o ensino obrigatório do novo Sistema. Por não ter o Poder Legislativo Brasileiro ratificado a adesão do País à citada Convenção, o Brasil retirou-se do organismo internacional então criado e dele só voltou a participar já no Brasil-República, por ocasião da 6.ª Conferência Geral de Pesos e Medidas realizada em 1921, para em seguida dele novamente se desligar e nele mais uma vez reingressar em 1953, quando o Decreto Legislativo n.º 57 formalizou a adesão do Brasil ao “Sistema Prático de Unidades” (antiga denominação do atual Sistema Internacional) e tornou legais no País as unidades desse Sistema.

Em meados da década de 1920 vários projetos de lei foram apresentados ao Congresso, visando à substituição e atualização das normas imperiais pertinentes a pesos e medidas, já então consideradas obsoletas. Deixando de lado a influência que sobre a tramitação desses projetos tiveram alguns acontecimentos ligados à Revolução de 1932, particularmente os relacionados com a fabricação em série de munição de guerra utilizada nesse movimento revolucionário, o fato é que necessidades posteriores, como a definição das tolerâncias a serem admitidas nas medidas de “alta precisão”, acabaram contribuindo para o surgimento de uma revisão da legislação metrológica então vigente.

Explicar-se-ia assim a edição do Decreto-Lei n.º 592, de 1938, que passou a ser considerado como “pedra angular” da organização metrológica nacional, diploma legal esse regulamentado pelo Decreto n.º 4 257, de 1939. Em resumo, esses decretos estabeleceram que as “unidades componentes do Sistema Legal de Medidas no Brasil são aquelas adotadas nas Conferências Gerais de Pesos e Medidas”, por força da Convenção Internacional do Metro, realizada em 1875.

Um passo importante para a consolidação da legislação metrológica brasileira foi dado com a edição da Lei n.º 4 048/61 que criou o Instituto Nacional de Pesos e Medidas - INPM, subordinado ao Ministério

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

da Indústria e Comércio, incumbindo-o de promover o cumprimento dessa legislação, exercendo todas as atribuições dos órgãos para tal designados pelo já citado Decreto-Lei n.º 592.

O Sistema Internacional de Unidades foi oficialmente adotado no Brasil pela Portaria n.º 27, de 29 de agosto de 1962, baixada pelo, hoje extinto, Instituto Nacional de Pesos e Medidas e, a partir de então, vários ordenamentos legais passaram a dispor sobre o uso desse Sistema no País.

O Decreto-Lei n.º 240/67 que reviu as atribuições do INPM e definiu a política e o Sistema Nacional de Metrologia, estabeleceu que “No Brasil, membro desde 1875 da Convenção Internacional do Metro, serão usadas obrigatória e exclusivamente as unidades de medir baseadas no Sistema Internacional de Unidades (SI) aprovadas nas Conferências Gerais de Pesos e Medidas”. O mesmo diploma legal prescreveu várias penalidades aos infratores de seus dispositivos.

Outro ato governamental, o Decreto n.º 63 233 baixado em 1968, aprovou o “Quadro Geral de Unidades de Medida”, elaborado em decorrência do Decreto-Lei citado, e reiterou que “as unidades legais no Brasil se baseiam nas resoluções tomadas pelas Conferências Gerais de Pesos e Medidas reunidas por força da Convenção Internacional do Metro, de 1875, as quais prevalecerão sempre”, e atribuiu ao Instituto Nacional de Pesos e Medidas a iniciativa, pelo menos formal, de propor “as modificações que se tornarem necessárias no referido Quadro”.

Dez anos após, novo ato legal, o Decreto n.º 81 621 de 1978, também com fundamento no antes citado Decreto-Lei n.º 240/67, alterou o “Quadro Geral de Unidades de Medida”, com o objetivo de atualizá-lo, sempre por força da Convenção Internacional do Metro de 1875 e, além da redefinição de algumas unidades já consagradas pelo uso, introduziu no Brasil, como unidade de base, o “mol” (unidade de quantidade de matéria).

I. M. ROZENBERG

Por outro lado, com a edição da Lei n.º 5 966, em 1973, a legislação metrológica brasileira ampliou seus objetivos em relação aos visados pela legislação vigente até então. Essa lei, que extinguiu o Instituto Nacional de Pesos e Medidas - INPM, criou o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - SINMETRO, com o objetivo — entre outros — de dotar o País da infraestrutura de um sistema de geração de normas e regulamentos técnicos visando avaliar e assegurar a “qualidade e produtividade” dos produtos e serviços brasileiros, bem como sua integração com a normalização internacional. Para a consecução desse objetivo, o SINMETRO conta basicamente com dois órgãos:

a - o CONMETRO - Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, órgão normativo incumbido de formular, coordenar e supervisionar a Política Nacional de Metrologia, Normalização Industrial e Certificação de Qualidade de Produtos Industriais;

b - o INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, órgão gestor do Sistema, isto é, o órgão executivo central do SINMETRO, responsável pela disseminação das unidades de medidas e métodos de medição no território nacional.

Pela Constituição de 1988, cabe privativamente à União dispor sobre as unidades de medida e o seu emprego em quaisquer atividades comerciais, agropecuárias, industriais, técnicas ou científicas. Essas funções são atualmente exercidas pelo CONMETRO e pelo INMETRO, subordinado ao primeiro, ao qual cabe propor as modificações que se tornarem necessárias no “Quadro de Unidades” de modo a mantê-lo atualizado, bem como dirimir as dúvidas que possam surgir na interpretação e na aplicação das unidades legais.

De conformidade com a Regulamentação Metrológica estabelecida pela Resolução n.º 11/82, do CONMETRO:

“Adotam-se no Brasil, obrigatória e exclusivamente as unidades de medida baseadas no Sistema Internacional de Unidades (SI),

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

aprovadas nas Conferências Gerais de Pesos e Medidas (CGPM)", bem como aquelas aceitas pela CGPM e constantes do "Quadro Geral de Unidades de Medida".

O "Quadro Geral de Unidades de Medida" apresentado neste livrete baseia-se no publicado pelo Diário Oficial da União de 21/10/1988, em face da Resolução n.º 12/88 do CONMETRO. Nesse Quadro (n.º 6), aqui parcialmente reproduzido (com autorização especial do INMETRO) de uma publicação editada por esse órgão em 1989, constam os nomes, as definições, os símbolos das unidades e os prefixos SI utilizados para a formação dos nomes dos múltiplos e submúltiplos das unidades, acrescentados a estes últimos os adotados pela 19.ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (1992).

4 - OS PRECURSORES DO SISTEMA INTERNACIONAL

Conforme já referido, o assunto “unidades de medida”, cujo interesse no passado mais distante se restringia à medição de algumas poucas grandezas objeto da atenção do homem comum, ganhou a partir do final do século 18 momentaneamente após o advento do Sistema Métrico Decimal, conotações cada vez mais amplas. O desenvolvimento da Mecânica Clássica com o subsequente alargamento das fronteiras da Física, os estudos dos fenômenos térmicos, acústicos, ópticos, magnéticos, radioativos etc., conduziram ao rápido crescimento do número de grandezas a medir e, por conseguinte, à necessidade de adoção de unidades de grandezas não cogitadas quando da organização do “Sistema Métrico Decimal”.

Diante dessa imposição e do reconhecimento da importância das medidas físicas no estudo dos fenômenos naturais, numerosas unidades nem sempre bem definidas, surgiram nos séculos 18 e 19, não raro, mais de uma para a mesma espécie de grandeza, unidades essas que, aos poucos, foram sendo reunidas em vários “sistemas”.

De um ponto de vista muito sumário, esses sistemas podem ser grupados em duas categorias: os “incoerentes” e os “coerentes”.

a - Os assim chamados “Sistemas Incoerentes”, cuja designação imprópria é evidente uma vez que suas unidades eram definidas de modo inteiramente arbitrário, sem atender às relações existentes entre as grandezas a medir e as que já tenham tido suas unidades previamente estabelecidas. Exemplo de unidade incoerente é a “atmosfera”, ainda largamente usada na medição da grandeza “pressão”. Sucede que a “pressão” exercida sobre uma superfície por uma força contra ela normalmente dirigida e uniformemente distribuída, é definida pela razão (quociente) entre a intensidade dessa força e a área da superfície considerada. Assim, seria “coerente” definir uma unidade de pressão como razão (quociente) entre a unidade de intensidade de força e a de área, ambas supostamente definidas “a priori”.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

Isto, no caso da “atmosfera”, não sucede porque definida com fundamento no conhecido experimento de Torricelli, a “atmosfera” (ou, mais precisamente, a “atmosfera normal”) é a pressão exercida sobre sua base por uma coluna de mercúrio de 76 centímetros de altura, a 0°C, num lugar onde a aceleração da gravidade é normal (9,806 65 m.s⁻²).

Seguem-se alguns outros exemplos de unidades incoerentes de uso ainda muito freqüente:

GRANDEZAS	UNIDADES
comprimento	milha terrestre, milha marítima
tempo	minuto, hora
ângulo	grau, minuto, segundo
velocidade	nó
pressão	centímetro de mercúrio, metro de água
quantidade de calor	caloria, quilocaloria, frigoria
volume	galão
potência	cavalo-vapor, <i>horse-power</i> , btu por hora
intensidade luminosa	vela internacional

b - Os “Sistemas Coerentes” são os estruturados a partir de algumas poucas grandezas conceitualmente simples, cujas unidades, denominadas “fundamentais” ou “de base”, são tomadas como ponto de partida para a definição das unidades de todas as demais grandezas. As que não são “de base”, conhecidas como “unidades derivadas”, resultam da combinação das unidades de base, através das mesmas relações algébricas (produto ou quociente) que interligam as medidas das grandezas correspondentes. Assim, no caso do exemplo citado linhas atrás, as unidades de “pressão”, nos sistemas coerentes mais comuns, são definidas pela razão (quociente) entre as respectivas unidades de intensidade de força e de área.

Os sistemas coerentes mais antigos — visando tão somente a medição das grandezas geométricas e mecânicas — foram estruturados a partir das unidades de apenas três grandezas fundamentais e tornaram-se conhecidos como sistemas do tipo LMT ou do tipo LFT,

I. M. ROZENBERG

conforme a natureza dessas três grandezas. Os sistemas identificados pela sigla LMT (iniciais das palavras francesas “*longueur*”, “*masse*” e “*temps*”), também conhecidos como “sistemas iniciais” ou “sistemas absolutos” ou ainda, “sistemas gaussianos”, eram aqueles que adotavam como fundamentais, ou de base, as unidades de comprimento, massa e tempo, enquanto os do tipo LFT (“*longueur*”, “*force*” e “*temps*”) eram os organizados a partir de unidades de comprimento, força e tempo, denominados “sistemas gravitacionais”.

Visando ao objetivo central desta publicação, isto é, ao trato do Sistema Internacional (SI), mencionam-se a seguir alguns sistemas coerentes adotados ao longo de cerca de um século, a partir de meados do século 19, todos eles originários do Sistema Métrico Decimal e considerados como precursores do SI.

- Atribui-se a Gauss, ainda no início do século 19 a proposta de adoção de um sistema do tipo LMT (sistema gaussiano) cujas unidades fundamentais, originárias do sistema métrico, eram o “milímetro”, o “mili-grama” e o “segundo”.

- O sistema CGS (“centímetro”, “grama” e “segundo”) foi organizado em 1873 por um Comitê da British Association for the Advancement of Science, por proposta de Lord Kelvin e formalmente adotado por uma decisão do Congresso Internacional de Eletricistas realizado em 1881, em Paris. Para atender ao domínio das grandezas elétricas, neste mesmo conclave foram associadas ao sistema CGS três “unidades práticas”: o “ampère”, o “ohm” e o “volt” para as medidas de “intensidade de corrente elétrica”, “resistência elétrica” e “força eletromotriz”, respectivamente.

- Em 1901, o Professor Giovanni Giorgi organizou o sistema MKS, sigla constituída pelas iniciais de “metro”, “quilograma” (antigamente grafada “kilograma”) e “segundo”, unidades às quais posteriormente (1904), com o objetivo de estender seu sistema à medição das grandezas elétricas, acrescentou o “ampère” (símbolo A) como unidade de inten-

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

sidade de corrente elétrica. Com isto, o sistema Giorgi tornou-se também conhecido como sistema MKSA.

- Em paralelo com o sistema Giorgi, surgiu um sistema gravitacional que partia do “metro” e do “segundo” como unidades de comprimento e de tempo, respectivamente e, como terceira unidade, ao invés de uma unidade de massa, adotava uma unidade de intensidade de força. Nesse sistema, conhecido pelas siglas MKgfS ou MK*S, a unidade de intensidade de força é o “quilograma-força” definido como o “peso do protótipo internacional de massa num lugar em que a aceleração da gravidade é normal ($9,806\ 65\ m\cdot s^{-2}$)”.
- Em 1919, por um ato do seu governo, foi adotado na França o sistema MTS cujas unidades fundamentais, identificadas pelas letras componentes da sigla, eram o “metro”, a “tonelada” e o “segundo”.

Vários sistemas coerentes de unidades propostos antes do aparecimento do Sistema Internacional, conquanto não considerados, propriamente, como percursores deste último, merecem uma referência pelo menos histórica. É o caso dos Sistemas Blondel e Maxwell que, em comum, tinham o “segundo” como unidade de tempo. As unidades de comprimento e massa neles propostas eram equivalentes a $10^{-2}\ m$ e $10^4\ kg$, respectivamente, no Sistema Blondel e $10^7\ m$ e $10^{-14}\ kg$, também respectivamente, no Sistema Maxwell.

Entre os muitos outros sistemas de unidades surgidos, sem maior repercussão por falta de praticidade embora bem fundamentados nas leis que regem os fenômenos físicos, cabe uma citação dos, assim denominados, “Sistemas Naturais” estruturados com base no princípio da adoção, como unitários, dos valores de algumas constantes universais como, por exemplo, a “constante h de Planck”, a “carga e do eletron”, a “permissividade elétrica” ou “constante dielétrica ϵ_0 do vácuo” etc. Em particular, no Sistema sugerido por Planck (no qual $h=1$), a unidade de comprimento e de massa resultariam equivalentes a $4,02 \times 10^{-35}\ m$ e $5,43 \times 10^{-8}\ kg$, respectivamente, e a de tempo igual, aproximadamente, a $1,34 \times 10^{-43}\ s$.

I. M. ROZENBERG

No Sistema proposto por Hartree, tomados como unitários os valores da carga, da massa do eletron (em repouso), o raio da primeira órbita permitida ao eletron em movimento ao redor do núcleo do átomo de hidrogênio (raio de Bohr) e o quociente por 2 da constante h de Planck (isto é h), a unidade de tempo resulta equivalente a $2,42 \times 10^{-17}$ s e a de energia é, aproximadamente, $4,36 \times 10^{-18}$ joule.

Conforme já consignado, por fugirem ao escopo deste opúsculo, como também por não terem influído, pelo menos diretamente, na adoção do Sistema Internacional, deixam de ser abordados aqui, os sistemas coerentes e incoerentes de “unidades britânicas” examinados com mais ou menos detalhes na vasta bibliografia existente a respeito.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

5 - O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

Embora com origem no Sistema Métrico Decimal, sancionado formalmente em 1875, a estruturação do Sistema Internacional de Unidades é bem mais recente. Foi em 1948 que a 9.^a Conferência Geral de Pesos e Medidas, a primeira realizada após a 2.^a guerra mundial, incumbiu o Comitê Internacional de Pesos e Medidas de estudar o estabelecimento de um “Sistema Prático de Unidades e Medidas” que pudesse ser adotado por todos os países signatários da Convenção do Metro. O mesmo conclave, já então, decidiu que as unidades que viessem a constituir o preconizado “Sistema Prático” deveriam ser representadas, simbolicamente, pelas letras iniciais de seus nomes, grafadas como minúsculas, exceto no caso de derivarem de nomes próprios, quando as letras iniciais desses símbolos deveriam ser maiúsculas. (v. item 5.3.1)

Por proposta do CIPM, a 10.^a CGPM, realizada em 1954, aprovou uma resolução aceitando como fundamentais desse “Sistema Prático”, necessariamente coerente, além das unidades de “comprimento”, “massa” e “tempo”, também as de “intensidade de corrente elétrica”, “temperatura termodinâmica” e de “intensidade luminosa”. As unidades então adotadas para as quatro primeiras dessas grandezas foram exatamente as do já citado Sistema MKSA (metro, quilograma, segundo e ampère) que havia sido proposto, em 1901, por Giovanni Giorgi para a medição das grandezas mecânicas e elétricas. A elas acrescentaram-se, então, o “kelvin” e a “candela” como unidades de “temperatura termodinâmica” e de “intensidade luminosa”, respectivamente.

Na 11.^a CGPM (1960), o “Sistema Prático de Unidades” foi formalmente sancionado com o seu nome alterado para “Sistema Internacional de Unidades”, abreviado pela sigla oficial “SI” ⁽¹⁾. Finalmente em

(1) Durante a 11.^a CGPM, a representação brasileira manifestou seu apoio à adoção do Sistema Internacional de Unidades em substituição ao Sistema Métrico Decimal, por ter reconhecido ser “a nova versão (deste último) mais racional, coerente, prática e passível a ser usada universalmente”.

I. M. ROZENBERG

1971 a 14.^a CGPM aprovou nova resolução pela qual ao conjunto das seis grandezas anteriormente referidas foi acrescida uma sétima: a de “quantidade de matéria”, cuja unidade é o “mol”.

Tão logo divulgado, o SI ganhou rápida e crescente aceitação tornando-se, de todos os sistemas até então propostos, o preferido nos mais variados domínios da ciência, engenharia, comércio, economia, enfim em todos os setores da atividade humana em que há necessidade de medir. Nos últimos anos da década de 1960 a maioria dos países, mas não a totalidade, já havia adotado o SI. Países de língua inglesa, apegados ao uso dos padrões e unidades britânicos, tardaram mais a adotá-lo. Nos Estados Unidos, por exemplo, somente em 1971, o Congresso aprovou um programa de dez anos para a adoção gradativa do SI de modo a atenuar ao longo do tempo os efeitos negativos que uma substituição brusca de seus próprios padrões de “pesos e medidas” causariam aos seus comércio e indústria.

5.1 - AS CLASSES DE UNIDADES DO SI

O SI, conforme idealizado, era um sistema coerente ou absoluto, constituído por três classes de unidades, todas elas designadas, genericamente, como “Unidades SI”. A partir de 1995, essas classes são reduzidas a duas.

I) “UNIDADES DE BASE” - também conhecidas como “unidades fundamentais”, são as definidas arbitrariamente sem atender a qualquer correlação, porque inexistente ou desconhecida, entre as grandezas físicas correspondentes. São escolhidas de maneira a resultar possível, a partir delas, a definição de todas as outras. Presentemente (1997), as unidades de base são sete: de comprimento, massa, tempo, intensidade de corrente elétrica, temperatura termodinâmica, intensidade luminosa e quantidade de matéria.

II) “UNIDADES DERIVADAS” - são as que se definem por combinação das unidades de base segundo relações algébricas, de produto

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

e/ou quociente, que interligam as correspondentes grandezas, ou mais precisamente, suas medidas. Freqüentemente essas relações recebem nomes e símbolos próprios, muitas vezes utilizados para a formação de outras unidades derivadas. As unidades derivadas que chegam a várias dezenas, estão relacionadas em outro item desta publicação.

III) “UNIDADES SUPLEMENTARES” - A partir da decisão da 11.^a CGPM realizada em 1960, sob esta denominação eram designadas as unidades que, dependendo do critério adotado por quem as classificava, poderiam ser incluídas numa ou noutra das classes anteriores. São apenas duas, ambas de grandezas puramente geométricas: a de ângulo plano (radiano) e a de ângulo sólido (esterradiano).

Por uma decisão do Comitê Internacional de Pesos e Medidas, adotada em 1980, a liberdade de se tratar o radiano e o esterradiano como “unidades de base” deveria ser revista porque comprometia a coerência do Sistema Internacional estruturado sobre apenas sete unidades de base. A partir de então, as “unidades suplementares” do SI passaram a ser consideradas como “unidades derivadas” sem dimensão. Com isto, reduziram-se a apenas duas as classes de unidades desse sistema, conforme decisão da 20.^a CGPM realizada em 1995. (v. item 5.1.3)

A “UNIDADE UM” ⁽¹⁾ - Entre as numerosas grandezas físicas existem várias cujas medidas, à semelhança dos ângulos plano e sólido, são definidas pela razão entre as medidas de duas grandezas da mesma espécie. É o caso, por exemplo, do “índice de refração”, da “permisividade elétrica relativa”, da “permeabilidade magnética relativa”, da “densidade”, do “intervalo de potência”, do “decremento logarítmico” etc., grandezas todas elas “adimensionais” cuja unidade é expressa pelo número 1 (um) embora em alguns casos a ele seja associado um nome, como no caso do “radiano”, “esterradiano”, “decibel”, “neper” etc. Assim, quando, por exemplo, se escreve que o índice de refração “n” de um determinado meio é $n=1,75$, pretende-se indicar que $n=1,75 \times 1=1,75$. Em

(1) A unidade “um” é assim denominada na norma NBR 12 230, da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

I. M. ROZENBERG

suma, as medidas de tais grandezas são expressas em relação à “unidade um”.

5.1.1 - UNIDADES DE BASE

As unidades de base, em número de sete, são as de: comprimento, massa, tempo, intensidade de corrente elétrica, temperatura termodinâmica, intensidade luminosa e quantidade de matéria. Embora os nomes dessas unidades — alguns bastante antigos — venham sendo mantidos desde a sua adoção, o mesmo não sucede com as suas definições. A substituição, ao longo do tempo, das definições de algumas delas, tem como objetivo permitir uma realização mais exata e precisa dessas unidades, ensejada pela contínua evolução das tecnologias utilizadas em suas medições.

a - UNIDADE DE COMPRIMENTO - Ao homologar o SI, a 11.^a CGPM (1960) adotou como unidade de comprimento o “metro”, vindo do Sistema Métrico Decimal, mas substituiu sua definição até então baseada no “protótipo internacional”. A nova definição estabeleceu que “o metro é o comprimento igual a 1 650 763,73 comprimentos de onda, no vácuo, da radiação vermelho-alaranjada correspondente à transição de um eletron entre os níveis $2p_{10}$ e $5d_5$ do átomo de criptônio 86”.

A mudança na definição do metro, então aprovada pela CGPM, teve em vista não só manter a magnitude dessa unidade tão próxima quanto possível da distância entre os dois traços do “protótipo internacional de comprimento”, como também, evitar as consequências da deterioração a que está sujeito aquele protótipo em decorrência do “envelhecimento” do material de que é constituído. Além disso, por ser o novo padrão invariável no tempo e no espaço, com o comprimento de onda da citada radiação sempre seria possível comparar, mesmo que indiretamente, qualquer outro comprimento.

Não obstante as razões que lhe deram origem, essa nova definição do metro não teve vida muito longa. Na 17.^a CGPM (1983), tendo em vista que a definição em questão não permitia praticamente uma realização

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

precisa dessa unidade para todas as necessidades e, ainda, que os progressos até então conseguidos no domínio dos lasers permitiam obter radiações mais reproduzíveis e de uso mais fácil que a radiação emitida por uma lâmpada de criptônio, além das vantagens que adviriam para a geodesia e astronomia com a revisão da então vigente definição do metro, a unidade de comprimento ganhou nova definição, agora baseada no valor de uma constante universal — a velocidade de propagação da luz no vácuo — fixado pela 15.^a CGPM (1975) como $c=299\ 799\ 458$ metros por segundo:

“O metro (símbolo m) é o comprimento percorrido pela luz no vácuo, durante um intervalo de tempo 1/299 792 458 do segundo”.

b - UNIDADE DE MASSA - A unidade de massa do SI, também oriunda do Sistema Métrico Decimal, é o “quilograma”, a única que mantém a definição com que foi consagrada como tal pela 1.^a CGPM (1889).

“O quilograma (símbolo kg) é a massa do protótipo internacional da massa (ou protótipo internacional de quilograma), mantido sob guarda e cuidados do Bureau International de Pesos e Medidas, em Sèvres, Paris, ratificado como tal pela 3.^a CGPM realizada em 1901”.

É interessante registrar que, em face de antiga confusão existente entre a “massa” e o “peso” de um corpo (confusão que, lamentavelmente, ainda persiste entre muitos “divulgadores” de ciências físicas), a 3.^a CGPM declarou expressamente que o quilograma é unidade de massa e não de peso ou de força.

É também interessante observar que em decorrência da inevitável ação poluente da atmosfera, embora confinada, que o envolve, o protótipo internacional de quilograma experimenta ao longo do tempo um acréscimo contínuo de massa. Assim, o CIPM tem esclarecido que o “quilograma” é a massa desse protótipo imediatamente após a sua limpeza segundo um método específico prescrito a partir de 1989.

I. M. ROZENBERG

c - UNIDADE DE TEMPO - Até o advento do SI a definição do “segundo” foi a consagrada como tal pela 1.^a CGPM (1889), isto é, como “1/86 400 do dia solar médio”. Sucede que observações astronômicas mais apuradas do que as que geraram essa definição, revelaram a existência de uma defasagem entre os instantes previstos para a ocorrência dos eclipses solares e aqueles em que tais eclipses efetivamente ocorriam. Essa defasagem, detectada com o advento dos relógios a quartzo, e atribuída à não uniformidade do movimento de rotação da Terra, tornou patente que tal movimento e, por conseguinte, o movimento aparente do Sol ao redor da Terra, não poderia ser tomado como referência para a definição de uma unidade de tempo.

Para contornar essa questão e preservar o princípio da definição do “segundo”, baseada na presunção de uma rigorosa periodicidade do movimento de rotação da Terra, ao sancionar o SI, a 11.^a CGPM (1960) decidiu definir uma unidade de tempo a partir da duração de um determinado “ano trópico” já decorrido. Como tal foi adotado o “ano trópico de 1900 iniciado ao meio dia (horário de Greenwich) de 31 de dezembro de 1899, designado na nomenclatura astronômica como o que teve início às “12 horas de janeiro O (zero) de 1900”. Assim, o “segundo” passou a ser definido como “1/31 556 925,974 7 da duração do ano trópico de 1900”. Um ano trópico é igual a 365,242 2 dias solares médios; por isto, o dia solar médio passou a ser definido como 1/365,242 2 do ano trópico de 1900.

OBSERVAÇÕES:

1 - Em sua translação ao redor do Sol ao longo da eclíptica, a Terra passa pelo equador celeste⁽¹⁾ duas vezes por ano: uma delas, em 21 ou 22 de março, assinala o “equinócio da primavera”, ocasião em que a Terra passa pelo “ponto vernal”, e a outra, em 22 ou 23 de setembro,

(1) Equador celeste é o círculo perpendicular ao “eixo do mundo”, isto é, à reta que passa por um observador situado na superfície da Terra, paralelamente ao eixo de rotação deste planeta e em torno do qual, a esfera celeste executa, aparentemente, seu movimento diurno.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

marca o equinócio do outono”, ou passagem da Terra pelo “ponto de Libra”. O “ano trópico” teve sua definição estabelecida pela 9.^a Assembleia Geral da União Astronômica Internacional, realizada em Dublin, em 1955: é a duração do intervalo de tempo decorrido entre duas passagens consecutivas da Terra pelo ponto vernal; sua duração é aproximadamente 365,242 2 dias solares.

2 - A indicação de um determinado “ano trópico” na definição do “segundo” tem por finalidade chamar atenção para o fato de o “ano trópico” ter uma duração variável; ele diminui cerca de 0,5 segundo por ano.

Mas também esta definição do “segundo” a partir do “ano trópico” teve vida efêmera. É que na própria década de 1960, quando já conhecido o (aparentemente) rigoroso periodismo das radiações emitidas, ou absorvidas, na transição de um eletron entre dois níveis de energia de um átomo ou de uma molécula, ocorreu a idéia de definir o “segundo” com fundamento nesse periodismo. Com isso, a 13.^a CGPM, realizada em 1967, abandonou a definição do “segundo” a partir de dados colhidos em observações astronômicas e decidiu, mantida sua magnitude, dar-lhe a definição atualmente em vigor.

“O segundo (símbolo s) é a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição de um eletron entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133”.

Esta definição é referida a um átomo de césio em repouso, a uma temperatura de zero kelvin.

Note-se que a freqüência assumida pela definição para a radiação em referência resulta de uma escolha tão precisa quanto possível, para torná-la experimentalmente distingível do “segundo” anteriormente definido a partir do movimento aparente do Sol. Esta nova definição tem duas vantagens: a) ela pode ser reproduzida com grande precisão (aproximadamente 1 para 10^{11} , que é muito significativa na metrologia moderna) e b) ela é avaliável para todo aquele que tem acesso ou pode construir um cronômetro regulado pela radiação especificada do césio.

I. M. ROZENBERG

d - UNIDADE DE INTENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA - Um Congresso Internacional de Eletricidade, realizado em Chicago em 1893, ao discutir a maneira pela qual se poderiam medir algumas grandezas elétricas, principalmente eletrodinâmicas, resolveu adotar, entre outras, algumas unidades designadas como “internacionais” ⁽¹⁾. Entre elas, incluía-se uma unidade de intensidade de corrente elétrica, o “ampère internacional” definida, então, como “a intensidade de uma corrente contínua que circulando durante 1 segundo através de uma solução de nitrato de prata, deposita sobre o catodo 0,001 118 gramas de prata”.

Uma decisão visando à substituição dessas unidades “internacionais” por outras que viessem, de fato, a ser adotadas internacionalmente, ou quiçá universalmente, foi aprovada na 9.^a CGPM (1948), ao ser convencionado como unidade de intensidade de corrente elétrica o “ampère”, incluído entre as unidades básicas do SI pela 11.^a CGPM (1960); sua definição que subsiste até o presente, estabeleceu que:

“O ampère (símbolo A) é a intensidade da corrente elétrica contínua e constante que percorrendo dois fios condutores retilíneos, paralelos, de comprimento indefinido e de seção transversal circular de área desprezível, situados no vácuo à distância de 1 metro um do outro, determina entre eles uma força de interação de origem eletromagnética de intensidade igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento de cada um dos fios”.

e - UNIDADE DE TEMPERATURA TERMODINÂMICA - A unidade de temperatura termodinâmica, o “kelvin”, teve sua definição estabelecida na 10.^a CGPM (1954), quando se fixou convencionalmente a temperatura do ponto tríplice da água como igual a 273,16 “graus kelvin”⁽²⁾. Com seu nome “kelvin” (em lugar de “grau Kelvin”), adotado na 13.^º CGPM (1967), a unidade em questão ganhou a seguinte definição:

(1) Não confundir essas “unidades internacionais” com as do SI.

(2) Ponto “tríplice” ou “triplo” da água é a temperatura em que coexistem as três fases (sólida, líquida e gasosa).

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

“O kelvin (símbolo K) é a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto tríplice da água”.

É interessante notar que além da temperatura termodinâmica, usualmente representada por T , para caracterizar o estado térmico de um sistema continua sendo muito comum recorrer à temperatura expressa na escala Celsius, comumente representada por t e definida pela equação

$$t = T - T_0$$

na qual $T_0 = 273,15$ (e não 273,16!) por definição.

Assim, dadas duas temperaturas termodinâmicas T_1 e T_2 e as correspondentes t_1 e t_2 avaliadas na escala Celsius, tem-se:

$$t_1 = T_1 - T_0$$

$$t_2 = T_2 - T_0$$

e, portanto $t_1 - t_2 = T_1 - T_2$

isto é, a diferença entre duas temperaturas medida (a diferença!) em “graus Celsius” ($^{\circ}\text{C}$) é igual à diferença entre as correspondentes temperaturas termodinâmicas medidas em kelvin.

f - UNIDADE DE INTENSIDADE LUMINOSA - Até as primeiras décadas do século 20, as unidades de intensidade luminosa utilizadas em vários países eram referidas a padrões de chama ou de luz emitida por filamentos de lâmpadas elétricas. Um exemplo é o “carcel”, utilizado na França, definido como a intensidade luminosa da “Lâmpada de Carcel” que queima 42 gramas de óleo de colza por hora, com uma chama de dimensões determinadas. O padrão inglês era a “Lâmpada de Vermont-Harcourt”, alimentada com vapor de pentano, enquanto o padrão alemão era a “Lâmpada de Hefner”, alimentada com acetato de amila líquido.

A título de curiosidade histórica, vale registrar que a “vela de Hefner” era realizada pela luz emitida, na direção horizontal, por uma

I. M. ROZENBERG

lâmpada que queima acetato de amila, com uma mecha de algodão puro situada num tubo de prata alemã de 25 milímetros de comprimento, diâmetro interno de 8 milímetros e cujas paredes têm 0,15 milímetros de espessura, a chama devendo ter 40 milímetros de altura e arder em atmosfera de ar parado sob pressão de 760 milímetros de mercúrio, contendo 0,7 litros por metro cúbico de gás carbônico e 6,6 gramas por metro cúbico de vapor d'água.

Ao uso dessas unidades seguiu-se o da “vela internacional” padronizada por uma determinada lâmpada de incandescência de filamento de carvão, substituída a partir de 1948 pela “vela nova”⁽¹⁾ que teve seu nome alterado para “candela”, por decisão da 13.^a CGPM (1967) — e definida como a “intensidade luminosa, na direção perpendicular, de uma superfície de área 1/600 000 metro quadrado de um corpo negro à temperatura de solidificação da platina sob pressão de 101 325 newtons por metro quadrado.”

Em face das dificuldades experimentais de realização do “corpo negro”, também conhecido como “irradiador de Planck”, por ocasião da 16.^a CGPM (1979), mantido o seu nome, a definição de candela foi substituída por esta outra:

“A candela é a intensidade luminosa, numa direção dada, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de freqüência 540×10^{12} hertz e cuja intensidade energética naquela direção é 1/683 watt por esterradiano”.

(1) A “vela nova”, com seu nome então substituído por “candela” foi definida como a “intensidade luminosa tal que a brilhância do radiador integral à temperatura de solidificação da platina seja igual a 60 candelas por centímetro quadrado.”

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

g - UNIDADE DE QUANTIDADE DE MATÉRIA⁽¹⁾ - A unidade de quantidade de matéria, o “mol”, cronologicamente a sétima e última unidade de base do SI, foi adotada pela 14.^a CGPM, realizada em 1971.

“O mol é a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 kg de carbono 12”.

Por ser a quantidade de matéria, das grandezas cujas unidades são adotadas como fundamentais, provavelmente, a menos familiar ao leitor, parece oportuno tecer a seu respeito algumas considerações introdutórias à definição de sua unidade.

Desde fins do século 19 o vocábulo “mol” tem sido utilizado pelos químicos com, pelo menos, dois significados diferentes.

Segundo um deles, o “mol” de uma substância (não iônica) era entendido como sinônimo de “molécula-gramo”, isto é, a massa dessa substância expressa em gramas, numericamente igual a sua massa molecular. Assim, uma vez que a massa molecular da água é, aproximadamente, 18, então um mol de água deveria ser entendido como 18 g dessa substância.

Sucede que, partindo das leis fundamentais da Química, demonstra-se que uma molécula-gramo de qualquer substância molecular contém sempre o mesmo número de moléculas e este número é o mesmo que o de átomos contidos em um átomo-gramo de qualquer substância elementar.

(1) É importante notar que a grandeza “quantidade de matéria” aqui referida, nada tem a ver com a “quantidade de matéria” que no passado não muito distante — há cerca de um século — se dizia, impropriamente, medida pela “massa” de um corpo. O nome desta grandeza, em português, é uma tradução do francês “quantité de matière” e do inglês “amount of substance”, nomes adotados pelas UICPA e UIPPA - União Internacional de Química Pura e Aplicada e União Internacional de Física Pura e Aplicada.

I. M. ROZENBERG

Daí, um segundo significado dado ao vocábulo “mol” já em meados deste século 19: “mol é o número constante de moléculas (ou átomos) existentes em uma molécula-grama de qualquer substância (não iônica) ou num átomo-grama de qualquer elemento (ou substância elementar, com maior precisão de linguagem).

Em resumo: até não há muito, o “mol” era tido como sinônimo de “molécula-grama”, por uns, e de Número de Avogadro, por outros.

Até o início da década de 1960, as massas atômicas e moleculares eram referidas a duas escalas diferentes: a “escala química” e a “escala física”. A escala química adotava como massa atômica padrão a massa atômica do Oxigênio comum — mistura dos três isótopos $^{16}_8\text{O}$, $^{17}_8\text{O}$, e $^{18}_8\text{O}$ na proporção em que eles coexistem na natureza, isto é, na atmosfera terrestre — fixada como igual a 16, enquanto na escala física o mesmo número 16 era convencionado como massa atômica, exclusivamente, do isótopo $^{16}_8\text{O}$. Com isto, a massa atômica de um elemento, bem como a massa molecular de uma substância, era uma ou outra (embora muito próximas entre si), dependendo da escala de referência adotada.

Por uma resolução da União Internacional de Química Pura e Aplicada (UICPA) adotada em conjunto com a União Internacional de Física Pura e Aplicada (UIPPA), a partir de 1961 foi adotada internacionalmente a “Escala Unificada de Massas Atômicas” na qual as massas atômicas e moleculares são referidas à massa atômica padrão fixada como 12,000 000 para o Carbono $^{12}_6\text{C}$, isto é, para a variedade isotópica do carbono cujo núcleo é constituído por 6 prótons e 6 neutrons, ou seja cujo número de massa é 12.

Com isto, o “mol”, entendido como sinônimo do Número de Avogadro, passou a ser entendido também como o número de átomos contidos em 12,000 000 gramas do elemento carbono 12.

Pois bem. A 14.^a Conferência Geral de Pesos e Medidas, ao decidir pela inclusão da unidade de “quantidade de matéria” entre as “unidades de base”, adotou como tal o “mol”, por proposta dos organismos

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

responsáveis pelo estabelecimento da Escala Unificada de Massa Atómica, já referidas, bem como da International Organization for Standardization - ISO⁽¹⁾ e decidiu que:

1 - “O mol (símbolo, também, mol) é a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 kg de carbono 12”;

2 - “quando se utiliza o mol, as unidades elementares devem ser especificadas, podendo ser átomos, moléculas, íons, eletrons, assim como outras partículas, ou grupamentos especificados de tais partículas”.

5.1.2 - UNIDADES DERIVADAS

Não obstante entendidas como as decorrentes de unidades de base, por combinação destas, consideram-se como derivadas, também as obtidas a partir de outras derivadas previamente definidas e, particularmente, das suplementares.

Para as grandezas, cujas unidades não são as “de base”, as unidades são definidas a partir das relações que as ligam com as grandezas cujas unidades já tenham sido definidas, de base ou não. Assim, para definir a unidade SI da grandeza denominada “massa específica” de uma substância, cuja medida é, em qualquer sistema coerente de unidades, determinada pelo quociente

$$\mu = \frac{m}{V}$$

onde m é a medida da massa dessa substância contida num volume cuja medida é V, utiliza-se o mesmo quociente da unidade de massa que é “de base” pela de volume que é derivada, isto é, a unidade

(1) O prefixo ISO, de origem grega, utilizado para designar a International Organization for Standardization, não constitui a sigla que a identifica mas, sim, empregada com seu significado original: igual, mesmo, padrão, comum.

I. M. ROZENBERG

de massa específica é o “quilograma por metro cúbico” (kg/m^3), independentemente da existência ou não na natureza de uma substância cuja massa específica seja essa.

Muitas unidades derivadas têm nome e símbolos especiais, por sua vez utilizados na definição de outras, igualmente derivadas, com a vantagem da representação destas últimas com formulação mais simples da que se faria necessária utilizar, partindo diretamente das unidades de base. Exemplo do que acaba de ser dito é o joule (J), unidade de trabalho definida pelo produto newton.metro ($1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$), que, a partir das unidades de base, deve ser expresso pelo produto $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^2$.

Os Quadros n.^{os} 1, 2 e 3 reúnem exemplos de unidades derivadas, respectivamente: a) sem nome especial, expressas a partir das unidades de base; b) com nomes especiais, com sua expressão a partir das unidades de base ou não; c) expressas com emprego de nomes de outras unidades derivadas com nomes especiais.

OBSERVAÇÃO - Embora a cada grandeza corresponde, no SI, uma única unidade, a recíproca não é verdadeira. Há casos em que grandezas distintas têm a mesma unidade. É, por exemplo, o caso do “ampere” que é a unidade de “intensidade de corrente elétrica” (unidade de base) e também de “força magnetomotriz” (unidade derivada). Análogo é o caso do “joule por kelvin (J.K^{-1}) que é a unidade SI de “capacidade térmica” e também da grandeza termodinâmica “entropia”.

5.1.3 - UNIDADES SUPLEMENTARES

Conforme já referido, quando organizado o SI, consideravam-se como “unidades suplementares” aquelas que, dadas suas peculiaridades, poderiam ser consideradas tanto como “de base” como, também, “derivadas”. Contudo, por uma decisão da 20.^a CGPM, de 1995, as “unidades suplementares” passaram a ser entendidas como “unidades derivadas sem dimensão”, uma vez que são definidas por quociente de unidades de grandezas de mesma espécie, ou de “mesmas dimensões” e, portanto, adimensionais.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

Esta classe incluía, antes de eliminada, apenas duas unidades puramente geométricas: a de ângulo plano — o “radiano”— e a de ângulo sólido — esterradiano — definidas como segue:

a - “o radiano (símbolo: rad) é a medida do ângulo plano compreendido entre dois raios de uma circunferência que, sobre ela, subtendem um arco de comprimento igual ao do próprio raio”;

b - “o esterradiano (símbolo: sr) é a medida do ângulo sólido que, com vértice no centro de uma esfera, subtende na superfície desta uma porção de área igual à de um quadrado cujo lado tem o comprimento do raio da esfera”.

Do mesmo modo que as demais unidades, as “suplementares” são utilizadas como presumivelmente conhecidas para a definição de muitas unidades de grandeza cujas medições estão relacionadas com as de ângulos planos ou sólidos. (V. Quadro n.º 4). Seus símbolos podem ser utilizados, mas não necessariamente, nas expressões de outras unidades derivadas SI.

5.2 - MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DECIMAIS DAS UNIDADES SI

A mesma Conferência Geral de Pesos e Medidas (11.^a) que sancionou o SI também adotou um primeiro conjunto de nomes, e respectivos símbolos, para designar os prefixos indicativos dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades SI. A esse conjunto Conferências posteriores acrescentaram vários outros. No Quadro n.º 5 já estão indicados os prefixos adotados pela 19.^a CGPM (1992).

5.3 - PRESCRIÇÕES PARA A EXPRESSÃO CORRETA DOS NÚMEROS, NOMES E SÍMBOLOS DAS UNIDADES

No Brasil, a utilização das unidades SI bem como a das unidades que, embora não integrantes desse sistema têm o seu emprego admitido

I. M. ROZENBERG

conjuntamente ou não com as unidades SI, obedece a um conjunto de regras prescritas por decisões, resoluções ou recomendações emanadas de vários organismos internacionais e brasileiros, tais como o Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), a International Organization for Standardization (ISO), o americano National Institute of Standards and Technology (NIST)⁽¹⁾, o Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que tratam de assuntos pertinentes à metrologia. Seguem-se algumas dessas prescrições.

5.3.1 - GRAFIA DOS NOMES DAS UNIDADES

Quando escritos por extenso, os nomes das unidades começam por letra minúscula, mesmo nos casos em que lembram nomes próprios de cientistas. Exemplos: newton, kelvin, pascal etc. (V. Quadros n.^{os} 13 e 14).

Faz exceção a esta regra o nome da unidade de intervalo (ou diferença) de temperatura denominada “grau Celsius”, escrito com C (maiúsculo)⁽²⁾.

Quando precedido de um prefixo designativo de um múltiplo ou submúltiplo da unidade, o prefixo e o nome da unidade constituem uma única palavra: Exemplos: quilômetro, megahertz, miligrana.

Para exprimir o valor numérico de uma grandeza, a unidade correspondente tanto pode ser escrita por extenso, como representada apenas pelo seu símbolo, vedadas as combinações mistas, isto é, de algumas unidades escritas por extenso com outras representadas por seus símbolos. Exemplos: quilograma por metro cúbico, ou kg/m^3 e jamais quilograma por m^3 ou $\text{kg}/\text{metro cúbico}$.

(1) Antigo National Bureau of Standards (NBS).

(2) O grau Celsius não é uma unidade integrante do SI, mas sua utilização é admitida em conjunto com o Sistema Internacional.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

5.3.2 - PLURAL DE NOMES DE UNIDADES

Ao serem escritos ou pronunciados por extenso, os nomes das unidades no plural recebem a letra “s” no final das palavras que as designam, mesmo contrariando as regras gramaticais. Exemplos: metros, quilogramas, farads, kelvins, mols, pascals etc.

Constituem exceções à esta regra, os nomes ou partes dos nomes que terminam pelas letras “s”, “x” e “z”, iguais no singular e no plural. Exemplos: siemens, lux, hertz etc.

Também não recebem a letra “s” no final, os nomes das unidades que figuram no denominador de unidades derivadas por quociente de duas outras. Exemplos: metros por segundo, quilogramas por metro cúbico, joules por kelvin etc.

Os prefixos são invariáveis e, portanto não admitem plural. O plural do múltiplo ou submúltiplo de uma unidade, obedece à mesma regra. Exemplos: quilowatts, micrometros, gigahertz etc.

5.3.3 - GRAFIA DOS SÍMBOLOS DE UNIDADES E PREFIXOS

Os símbolos das unidades são grafados em caracteres romanos verticais minúsculos, a não ser quando derivam de nomes próprios, caso em que, para representá-los, a primeira letra desses nomes (muitas vezes a única) é grafada como maiúscula ⁽¹⁾. Exemplos: m (metro), kg (quilograma), K (kelvin), W (watt), Wb (weber), H (henry), Hz (hertz) etc.

Faz exceção a esta regra, o símbolo de “ohm”, unidade de resistência elétrica que é representado pela letra grega “Ω” (ômega maiúsculo).

⁽¹⁾ V. observação n.º 3, Quadro n.º 7.

I. M. ROZENBERG

Os símbolos são invariáveis, isto é, não admitem plural. O comprimento de “cinquenta metros” é representado simbolicamente por “50 m” e jamais por “50 ms”, ou “50 mts”, ou por qualquer outro suposto símbolo.

É vedado o uso do “ponto”, após o símbolo a título de abreviatura, ou da letra “s” a título de plural. O ponto após o símbolo só é admitido ao final de uma frase, como sinal de pontuação.

Entre dois símbolos o “ponto” deve ser utilizado para indicar o produto das respectivas unidades. Exemplos: N.m, kg.m², Pa.s etc.

O ponto pode ser suprimido quando inexiste possibilidade de confusão com outro símbolo de unidade ou prefixo. Por exemplo: N.m ou Nm ou ainda, m.N, mas não mN (que representa o “milinewton”).

O “quilograma”, unidade de base do SI, é a única cujo nome inclui um prefixo — o “quilo”. Os nomes dos múltiplos e submúltiplos decimais da unidade de massa, por motivos históricos, são formados pela palavra “grama” precedida pelos prefixos oficiais indicados no Quadro n.º 5. Assim, $10^3 \text{ kg} = 1 \text{ Mg}$ e $10^{-6} \text{ kg} = 1 \text{ mg}$.

Os prefixos são grafados sem espaçamento entre eles e os símbolos das unidades. Exemplos “nm” (nanometro) e não “n.m” ou “n m”.

Quando o símbolo de uma unidade, precedido por um prefixo, é afetado de um expoente, isto significa que o múltiplo ou submúltiplo dessa unidade deve ser entendido elevado à potência indicada por esse expoente. Exemplo: $1 \text{ km}^2 = (10^3 \text{ m})^2 = 10^6 \text{ m}^2$.

Os símbolos das unidades SI, bem como os das unidades “não SI” mas de utilização admitida, devem sempre ser escritos na mesma linha “horizontal”, isto é, alinhados com os números a que se referem. Exemplo 5 m e não 5^m.

Fazem exceção a esta regra os símbolos de algumas unidades não pertencentes ao SI, mas de utilização admitida, como as unidades

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

de ângulo plano, grau, minuto e segundo, grafados como se expoentes fossem. Exemplo: $5^{\circ}20'32''$, lê-se: 5 graus, 20 minutos e 32 segundos de ângulo.

Os símbolos de uma mesma unidade podem coexistir num símbolo obtido por produto ou quociente de unidades distintas. Exemplo: $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ (unidade de “resistividade elétrica”).

O símbolo de uma unidade expressa pelo quociente de outras pode ser grafado, indiferentemente, utilizando uma barra inclinada (/), um traço horizontal ou através de potências negativas. Exemplo:

$$\frac{W}{m^2 K} = W/(m^2 \cdot K) = W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1} = W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$$

5.3.4 - GRAFIA DOS NÚMEROS

As regras que se seguem não se aplicam, necessariamente, a números que não traduzem as medidas de grandezas físicas. Exemplos: números de telefone, datas, códigos de identificação etc.

A separação da parte inteira da fração decimal de um número é sempre feita por uma vírgula ⁽¹⁾. Exemplo: 245,32 (lê-se duzentos e quarenta e cinco inteiros e trinta e dois centésimos).

Os algarismos representativos da parte inteira e os da fração decimal dos números devem ser separados em grupos de três, a contar da vírgula para a esquerda e para a direita, cada grupo separado do seguinte ou precedente pelo espaço igual ao que seria o de um caráter. Exemplo: 10 134, 251 6 m.

Quando o valor absoluto do número a representar é menor que 1, coloca-se o algarismo 0 (zero) à esquerda da vírgula. Exemplo: 0,354 kg e não .354kg!

(1) por um ponto, nos países de língua inglesa.

I. M. ROZENBERG

5.3.5 - ESPAÇAMENTO ENTRE NÚMERO E SÍMBOLO

Em textos correntes deve ser utilizado o espaçamento correspondente a um ou meio caráter (letra) entre o número e o símbolo, a menos que haja possibilidade de fraude. (V. exemplos citados nos itens anteriores).

Na apresentação de tabelas é permitida a utilização de espaçamentos diversos entre os números e os símbolos das unidades correspondentes.

6 - O USO DE UNIDADES “NÃO SI”

A adoção do Sistema Internacional não impede a utilização de algumas unidades estranhas a ele e por isto conhecidas como “não SI”. De fato: entre as não SI existe um número apreciável de unidades cuja utilização, em conjunto com as do próprio SI, é admitida pelos organismos que supervisionam seu emprego, enquanto a de outras é formalmente desaconselhada ou mesmo vetada.

Com relação à sua utilização admitida, ou não, as unidades não SI podem ser distribuídas em quatro grandes grupos.

6.1 - UNIDADES DE UTILIZAÇÃO ADMITIDA EM CONJUNTO COM AS DO SI, SEM RESTRIÇÃO DE PRAZO

São as que em face de sua larga utilização — muito anterior à criação do SI — e por não colidirem com as do SI, são reconhecidas pelo Comitê Internacional de Pesos e Medidas como de emprego permitido isoladamente, combinadas entre si, e em conjunto com as do SI, sem restrição de prazo. As unidades deste grupo bem como seus símbolos e valores em unidades SI estão relacionadas no Quadro n.º 7.

6.2 - UNIDADES DE UTILIZAÇÃO PERMITIDA EM CARÁTER TEMPORÁRIO

São as unidades que, embora com larga utilização anterior à edição do SI, devem ter seu uso tolerado transitoriamente, isto é, em caráter temporário. Em outros termos, as unidades deste grupo estão fadadas a um paulatino abandono e à substituição pelas correspondentes unidades SI, embora num prazo ainda não definido. De emprego autorizado pelo CIPM, em 1969, algumas delas estão elencadas no Quadro n.º 8, com seus símbolos, em maioria não oficiais, e respectivos valores em unidades SI.

6.3 - UNIDADES DE UTILIZAÇÃO ADMITIDA EM CASOS MUITO ESPECIAIS

Incluem-se neste conjunto as unidades de grandezas que aparecem em domínios específicos da ciência e cuja magnitude usual tornaria incômoda sua substituição pelas correspondentes unidades do SI. Vale dizer: em certos domínios das ciências, particularmente na Física Nuclear, existem às vezes motivos relevantes que justificam o uso de unidades isoladas não pertencentes ao SI ou a qualquer outro sistema coerente. É de ressaltar que na utilização dessas unidades e principalmente de seus símbolos há de se tomar cuidado de não infringir a simbologia adotada pelo SI bem como as prescrições de seu correto emprego. No Quadro n.º 8 estão relacionadas algumas dessas unidades.

6.4 - UNIDADES DE UTILIZAÇÃO FORMALMENTE DESACONSELHADA

A este numeroso grupo pertencem, praticamente, todas unidades não integrantes do SI e também as não incluídas nos três grupos anteriores. Em particular, são de utilização desaconselhada as unidades dos sistemas CGS (eletrostático e eletromagnético), com exclusão, naturalmente, das que pertencem ao próprio SI (segundo, hertz, radiano etc.). No Quadro n.º 9 figuram algumas das unidades supostamente mais conhecidas do leitor que embora, em linguagem diplomática empregada nas CGPM, sejam consideradas de utilização “desaconselhada”, devem ser entendidas como de utilização abolida.

6.5 - UNIDADES DE USO FREQÜENTE EMBORA DESACONSELHADO

No Quadro n.º 11 estão elencadas, além de muitas unidades antigas, algumas dezenas de unidades estranhas ao SI que, embora de

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

utilização desaconselhada, continuam sendo freqüentemente empregadas, mesmo em alguns países como o Reino Unido e os Estados Unidos, que formalmente adotaram o Sistema Internacional. Para efeito de sua equivalência com as do SI, as unidades inglesas e americanas de uma mesma grandeza que, apesar de homônimas, têm, às vezes, magnitudes ligeiramente distintas, são nesse Quadro indicadas sem as decimais que as distinguem. Assim os valores da “polegada imperial inglesa” (24,400 mm) e da “polegada inglesa” (25,400 05 mm) são apresentadas como iguais a $2,540 \times 10^{-2}$ m. O mesmo não sucede, por exemplo com o “galão” e a “tonelada” conforme assinalado no referido Quadro.

QUADROS

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

QUADRO N.º 1

UNIDADES DERIVADAS SEM NOMES ESPECIAIS

GRANDEZA	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO
Área	metro quadrado	m^2
Volume	metro cúbico	m^3
Velocidade	metro por segundo	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Aceleração	metro por segundo por segundo	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Massa específica	quilograma por metro cúbico	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Luminância	candela por metro quadrado	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
Número de ondas	1 por metro	m^{-1}
Volume específico	metro cúbico por quilograma	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
Concentração	mol por metro cúbico	$\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$
Densidade de corrente	ampère por metro quadrado	$\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$
Campo magnético	ampère por metro	$\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$

QUADRO N.º 2

UNIDADES DERIVADAS COM NOMES ESPECIAIS,
EXPRESSAS EM UNIDADES DE BASE OU NÃO

GRANDEZA	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO	EXPRESSÃO USUAL
Freqüência	hertz	Hz	s^{-1}
Força	newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$
Pressão	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$
Trabalho, Energia	joule	J	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} = N \cdot m$
Potência	watt	W	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} = J \cdot s^{-1}$
Carga elétrica	coulomb	C	A.s
Diferença de potencial elétrico	volt	V	$J \cdot C^{-1}$
Fluxo de indução magnética	weber	Wb	V.s
Indutância	henry	H	$Wb \cdot A^{-1}$
Capacidade elétrica	farad	F	$C \cdot V^{-1}$
Resistência elétrica	ohm	Ω	$V \cdot A^{-1}$
Fluxo luminoso	lúmen	lm	cd
Iluminamento	lux	lx	$lm \cdot m^{-2}$
Atividade	becquerel	Bq	s^{-1}
Dose absorvida	gray	Gy	$J \cdot kg^{-1}$
Equivalente de dose	sievert	Sv	$J \cdot kg^{-1}$

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

QUADRO N.º 3

UNIDADES DERIVADAS EXPRESSAS EM OUTRAS COM NOMES ESPECIAIS

GRANDEZA	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO
Momento de uma força	newton.metro	N.m
Viscosidade dinâmica	pascal.segundo	Pa.s
Tensão superficial	newton por metro	N.m ⁻¹
Capacidade térmica e Entropia	joule por kelvin	J.K ⁻¹
Calor específico	joule por quilograma.kelvin	J(kg.K) ⁻¹
Campo elétrico (intensidade de)	volt por metro	V.m ⁻¹
Densidade elétrica superficial	coulomb por metro quadrado	C.m ⁻²
Energia mássica	joule por quilograma	J.kg ⁻¹
Energia molar	joule por mol	J.mol ⁻¹
Entropia molar	joule por mol kelvin	J.mol ⁻¹ .K ⁻¹
Permissividade elétrica	farad por metro	F.m ⁻¹
Permeabilidade magnética	henry por metro	H.m ⁻¹
Exposição (raios X e γ)	coulomb por quilograma	C.kg ⁻¹

I. M. ROZENBERG

QUADRO N.º 4

UNIDADES DERIVADAS EXPRESSAS COM EMPREGO
DE UNIDADES SUPLEMENTARES

GRANDEZA	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO
Velocidade angular	radiano por segundo	rad.s^{-1}
Aceleração angular	radiano por segundo por segundo	rad.s^{-2}
Intensidade energética	watt por esterradiano	W.sr^{-1}
Luminância energética	watt por metro quadrado por esterradiano	$\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

QUADRO N.º 5

PREFIXOS SI

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

I. M. ROZENBERG

OBSERVAÇÕES:

- 1 - Os múltiplos e submúltiplos das unidades SI, identificados pelos seus prefixos, devem ser designados pelo seu nome por inteiro, isto é, “múltiplos e submúltiplos das unidades SI”, para não confundi-los com o conjunto coerente das unidades SI propriamente ditas. Por exemplo: MPa mega pascal; pF pico farad; GHz gigahertz; mN milinewton (*); cm centímetro.
- 2 - Por recomendação do CIPM, os nomes de múltiplos e submúltiplos decimais da unidade de massa são obtidos fazendo preceder os respectivos prefixos à palavra “grama” e não ao vocábulo “quilograma”, embora este último designe a unidade de massa no SI. Assim, a massa 10^3 kg deve ser designada pela palavra “megagrama” e não “quiloquilograma” e, do mesmo modo 10^{-3} kg = 10^{-6} g deve ser lido 1 “micrograma” não 1 “miliquilograma”.
- 3 - Os prefixos oficialmente adotados para designar os múltiplos e submúltiplos das Unidades SI podem também ser empregados como as unidades não SI de utilização admitida e em conjunto com as do SI.
- 4 - Na forma oral, os nomes dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades devem ser pronunciados por extenso, com acento na sílaba tônica da unidade. São exceções a esta regra palavras como “quilômetro”, “centímetro” e outras que tais, cujo uso é consagrado com o acento tônico recaindo sobre o prefixo. Assim, o “milionésimo do metro” deve ser lido “mícrometro” e não “micrômetro” nome que designa um instrumento de medição de pequenos comprimentos.
- 5 - Os múltiplos e submúltiplos decimais das unidades SI, definidos pelos seus prefixos oficiais, não constituem um sistema coerente. Assim, o “ohm”, unidade de resistência elétrica, é definido pela razão “volt por ampère” ($V \cdot A^{-1}$), mas o “quilohm” é definido pela razão “quilovolt por ampère” ($kV \cdot A^{-1}$) e não pela razão “quilovolt por quiloampère ($kV \cdot kA^{-1}$) que, por sinal, define o próprio “ohm”.

(*) Não confundir com m.N = metro x newton.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

QUADRO N.º 6

QUADRO GERAL DE UNIDADES DO SISTEMA INTERNACIONAL

GRANDEZA	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO	EXPRESSÃO EM UNIDADES DE BASE
UNIDADES GEOMÉTRICAS			
Comprimento	metro ⁽¹⁾	m	m
Área	metro quadrado ⁽²⁾	m^2	m^2
Volume	metro cúbico ⁽³⁾	m^3	m^3
Ângulo plano	radiano ⁽⁴⁾	rad	$m \cdot m^{-1} = 1$
Ângulo sólido	esterradiano ⁽⁵⁾	sr	$m^2 \cdot m^{-2} = 1$
UNIDADES MECÂNICAS			
Tempo	segundo ⁽⁶⁾	s	s
Freqüência	hertz ⁽⁷⁾	Hz	s^{-1}
Velocidade (escalar)	metro por segundo ⁽⁸⁾	$m/s = m \cdot s^{-1}$	$m \cdot s^{-1}$
Velocidade angular	radiano por segundo ⁽⁹⁾	$rad/s = rad \cdot s^{-1}$	s^{-1}
Aceleração (escalar)	metro por segundo, por segundo ⁽¹⁰⁾	$m/s^2 = m \cdot s^{-2}$	$m \cdot s^{-2}$

I. M. ROZENBERG

Aceleração angular	radiano por segundo, por segundo ⁽¹¹⁾	$rd/s^2=rd.s^{-2}$	s^{-2}
Massa	quilograma ⁽¹²⁾	kg	kg
Massa específica	quilograma por metro cúbico ⁽¹³⁾	$kg/m^3=kg.m^{-3}$	$m^{-3}.kg$
Vazão	metro cúbico por segundo ⁽¹⁴⁾	$m^3/s=m^3.s^{-1}$	$m^3.s^{-1}$
Fluxo de massa	quilograma por segundo ⁽¹⁵⁾	$kg/s=kg.s^{-1}$	$kg.s^{-1}$
Momento linear	quilograma.metro por segundo ⁽¹⁶⁾	$kg.m/s=kg.m.s^{-1}$	$m.kg.s^{-1}$
Momento de inércia	quilograma.metro quadrado ⁽¹⁷⁾	$kg.m^2$	$m^2.kg$
Momento angular	quilograma.metro quadrado por segundo ⁽¹⁸⁾	$kg.m^2/s=kg.m^2.s^{-1}$	$m^2kg.s^{-1}$
Força	newton ⁽¹⁹⁾	N	$m.kg.s^{-2}$
Momento de uma força	newton.metro ⁽²⁰⁾	N.m	$m^2.kg.s^{-2}$
Pressão	pascal ⁽²¹⁾	Pa	$m^{-1}.kg.s^{-2}$
Trabalho	joule ⁽²²⁾	J	$m^2.kg.s^{-2}$
Potência	watt ⁽²³⁾	W	$m^2 .kg.s^{-3}$
Densidade de fluxo de energia	watt por metro quadrado ⁽²⁴⁾	$W/m^2=W.m^{-2}$	$kg.s^{-3}$
Viscosidade dinâmica	pascal.segundo ⁽²⁵⁾	Pa.s	$m^{-1}.kg.s^{-1}$

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

Viscosidade cinemática	metro quadrado por segundo ⁽²⁶⁾	$\text{m}^2/\text{s} = \text{m}^2\text{s}^{-1}$	m^2s^{-1}
Tensão superficial	newton por metro ⁽²⁷⁾	$\text{N}/\text{m} = \text{N}\text{m}^{-1}$	kgs^{-2}
Quantidade de matéria	mol ⁽²⁸⁾	mol	mol

UNIDADES ELÉTRICAS E MAGNÉTICAS

As unidades elétricas e magnéticas do Sistema Internacional constituem um subsistema de unidades racionalizado, para o qual as constantes eletromagnéticas para o vácuo têm os seguintes valores:

$$\text{velocidade da luz} \quad c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{permeabilidade magnética} \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$$

$$\text{permissividade elétrica} \quad \epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2} \text{ F.m}^{-1}$$

Intensidade de corrente elétrica	ampère ⁽²⁹⁾	A	A
Carga elétrica	coulomb ⁽³⁰⁾	C	A.s
Diferença de potencial elétrico	volt ⁽³¹⁾	V	$\text{m}^2\text{kg}\text{s}^{-3}\text{A}^{-1}$
Gradiente de potencial	volt por metro ⁽³²⁾	$\text{V}/\text{m} = \text{V}\text{m}^{-1}$	$\text{m}\text{kg}\text{s}^{-3}\text{A}^{-1}$
Intensidade de campo elétrico	newton por coulomb ⁽³³⁾	$\text{N}/\text{C} = \text{N}\text{C}^{-1}$	$\text{m}\text{kg}\text{s}^{-3}\text{A}^{-1}$
Resistência elétrica	ohm ⁽³⁴⁾	Ω	$\text{m}^2\text{kg}\text{s}^{-3}\text{A}^{-2}$

I. M. ROZENBERG

Resistividade	ohm.metro ⁽³⁵⁾	$\Omega \cdot m$	$m^3 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Condutância	siemens ⁽³⁶⁾	S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Densidade de corrente	ampère por metro quadrado ⁽³⁷⁾	$A \cdot m^{-2}$	$m^{-2} \cdot A$
Condutividade	siemens por metro ⁽³⁸⁾	$S/m = S \cdot m^{-1}$	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Densidade elétrica superficial	coulomb por metro quadrado ⁽³⁹⁾	$C/m^2 = C \cdot m^{-2}$	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
Fluxo elétrico	newton.metro quadrado por coulomb ⁽⁴⁰⁾	$(N/C)m^2 = N \cdot C^{-1} \cdot m^2$	$m^3 \cdot kg \cdot s^{-3} A^{-1}$
Capacitância	farad ⁽⁴¹⁾	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} s^4 A^2$
Indutância	henry ⁽⁴²⁾	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} A^{-2}$
Permeabilidade magnética	henry por metro ⁽⁴³⁾	$H/m = H \cdot m^{-1}$	$m \cdot kg \cdot s^{-2} A^{-2}$
Potência aparente	volt.ampère ⁽⁴⁴⁾	$V \cdot A$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Potência reativa	var ⁽⁴⁵⁾	var	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Indução magnética	tesla ⁽⁴⁶⁾	T	$kg \cdot s^{-2} A^{-1}$
Fluxo de indução magnética	weber ⁽⁴⁷⁾	Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} A^{-1}$
Força magnetomotriz	ampère ⁽⁴⁸⁾	A	A
Intensidade de campo magnético	ampère por metro ⁽⁴⁹⁾	$A/m = A \cdot m^{-1}$	$m^{-1} \cdot A$
Relutância	ampère por weber ⁽⁵⁰⁾	$A/Wb = A \cdot Wb^{-1}$	$m^2 \cdot kg^{-1} s^2 A^2$

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

UNIDADES TÉRMICAS			
Temperatura termodinâmica	kelvin ⁽⁵¹⁾	K	K
Diferença de temperatura	grau Celsius ⁽⁵²⁾	°C	K
Gradiente de temperatura	kelvin por metro ⁽⁵³⁾	$K/m=K.m^{-1}$	$m^{-1}.K$
Quantidade de calor	joule ⁽⁵⁴⁾	J	$m^2.kg.s^2$
Capacidade térmica	joule por kelvin ⁽⁵⁵⁾	$J/K=J.K^{-1}$	$m^2kg.s^2.K^{-1}$
Calor específico	joule por quilograma e por kelvin ⁽⁵⁶⁾	$J/kg.K=J(kg.K)^{-1}$	$m^2.s^{-2}.K^{-1}$
Condutividade térmica	watt por metro e por kelvin ⁽⁵⁷⁾	$W/(m.K)=W(mK)^{-1}$	$m.kg.s^{-3}.K^{-1}$
UNIDADES ÓPTICAS E FOTOMÉTRICAS			
Intensidade luminosa	candela ⁽⁵⁸⁾	cd	cd
Fluxo luminoso	lúmen ⁽⁵⁹⁾	lm	cd
Iluminamento	lux ⁽⁶⁰⁾	lx	$m^{-2}.cd$
Luminância	candela por metro quadrado ⁽⁶¹⁾	$cd/m^2=cd.m^{-2}$	$m^{-2}.cd$
Exitância luminosa	lúmen por metro quadrado ⁽⁶²⁾	$lm/m^2=lm.m^{-2}$	$m^{-2}.cd$

I. M. ROZENBERG

Exposição luminosa	lux.segundo ⁽⁶³⁾	lx.s	$m^2.s.cd$
Eficiência luminosa	lúmen por watt ⁽⁶⁴⁾	$lm/W=lm.W^{-1}$	$m^2.kg.s^3.cd$
Número de ondas	1 por metro ⁽⁶⁵⁾	$\frac{1}{m}=m^{-1}$	m^{-1}
Intensidade energética	watt por esterradiano ⁽⁶⁶⁾	$W/sr=W.sr^{-1}$	$m^2kg.s^3$
Emitância energética	watt por metro quadrado ⁽⁶⁷⁾	$W/m^2=W.m^{-2}$	$kg.s^3$
Luminância energética	watt por esterradiano e por metro quadrado ⁽⁶⁸⁾	$W/sr.m^2=$ $=W(sr.m^2)^{-1}$	$kg.s^3$
Convergência	dioptria ⁽⁶⁹⁾	di	m^{-1}
UNIDADES DO DOMÍNIO DAS RADIAÇÕES IONIZANTES			
Atividade	becquerel ⁽⁷⁰⁾	Bq	s^{-1}
Exposição	coulomb por quilograma ⁽⁷¹⁾	$C/kg=C.kg^{-1}$	$kg^{-1}.s.A$
Dose absorvida	gray ⁽⁷²⁾	Gy	$m^2.s^{-2}$
Equivalente de dose	sievert ⁽⁷³⁾	Sv	$m^2.s^{-2}$

DEFINIÇÕES/OBSERVAÇÕES

A abreviatura CGPM, utilizada no que segue, é para designar as Conferências Gerais de Pesos e Medidas. Os números que a precedem indicam o número de ordem das várias Conferências e os que a seguem, entre parênteses, os anos de sua realização. Por outro lado, a sigla CIPM refere-se ao Comitê Internacional de Pesos e Medidas.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

- (1) O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante um intervalo de tempo de 1/299 792 458 de segundo.
O metro é unidade de base, definida pela 17.^a CGPM (1983).
- (2) O metro quadrado é a área de um quadrado cujo lado tem um metro de comprimento.
- (3) O metro cúbico é o volume de um cubo cuja aresta tem 1 m de comprimento.
- (4) O radiano é o ângulo central que, com vértice no centro de um círculo, subtende na circunferência um arco de comprimento igual ao respectivo raio. Trata-se de uma unidade antigamente considerada “suplementar” e, a partir de 1980, por uma decisão do CIPM, considerada como “unidade derivada adimensional”.
- (5) O esterradiano é o ângulo sólido que, com vértice no centro de uma esfera, subtende na superfície da esfera uma porção de superfície de área igual ao quadrado do raio dessa esfera.
O esterradiano é uma unidade que a partir de uma decisão do CIPM, de 1980, é considerada como “unidade derivada adimensional”.
- (6) O segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos de radiação correspondentes à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de célio 133.
O segundo é unidade de base, adotada como tal, por definição ratificada pela 13.^a CGPM (1967).
- (7) O hertz é a freqüência de um fenômeno periódico cujo período é de um segundo.
- (8) Um metro por segundo é a velocidade de um ponto material que, em movimento uniforme, percorre a distância de 1 metro em 1 segundo.
- (9) Radiano por segundo é a velocidade angular de um ponto material que, em movimento uniforme ao longo de uma circunferência descreve um ângulo igual a 1 radiano em 1 segundo.
A expressão do radiano por segundo (s^{-1}), decorre do fato de o “radiano” ser uma “unidade de um”.

I. M. ROZENBERG

- (10) Um metro por segundo por segundo é a aceleração de um ponto material em movimento uniformemente variado, cuja velocidade varia de 1 metro por segundo em 1 segundo.
- (11) Um radiano por segundo por segundo é a aceleração angular de um ponto material em movimento uniformemente variável ao longo de uma circunferência cuja velocidade angular varia de um radiano por segundo em um segundo.
- (12) O quilograma é a massa do “protótipo internacional do quilograma”.
Trata-se de uma Unidade de Base, oriunda do Sistema Métrico Decimal, ratificada como tal, pela 3.^a CGPM.
- (13) Um quilograma por metro cúbico é a massa específica de uma substância quimicamente pura que, num volume igual a 1 metro cúbico, contém uma massa igual a 1 quilograma.
- (14) O metro cúbico por segundo é a vazão de um fluido que, em regime de escoamento constante através de uma superfície determinada, escoa o volume de 1 metro cúbico do fluido em 1 segundo.
- (15) Um quilograma por segundo é o fluxo de massa de um material que, em regime de escoamento permanente através de uma determinada superfície, escoa a massa de 1 quilograma desse material em 1 segundo.
A grandeza fluxo de massa costuma ser referida ao material de cujo escoamento se trata. Por exemplo: fluxo de vapor.
- (16) Um quilograma.metro por segundo é o momento linear de um ponto material de massa igual a 1 quilograma que se desloca com velocidade de 1 metro por segundo.
A grandeza momento linear é também denominada “quantidade de movimento linear”.
- (17) Um quilograma.metro quadrado é o momento de inércia de um ponto material de massa igual a 1 quilograma, em relação a um eixo situado a 1m de distância.
- (18) Um quilograma.metro quadrado por segundo é o momento angular em relação a um eixo de um corpo cujo momento de inércia é 1 quilograma.metro quadrado girando ao redor do mesmo eixo com velocidade angular constante igual a 1 radiano por segundo.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

O momento angular é também denominado “quantidade de movimento angular” ou, ainda, “momento cinético”.

- (19) O newton é a intensidade da força que aplicada a um ponto material de massa igual a 1 quilograma comunica-lhe uma aceleração igual a 1 metro por segundo por segundo.
- (20) Um newton.metro é o momento de uma força de 1 newton, em relação a um ponto situado à uma distância de 1 metro de sua linha de ação.
O momento de uma força é também denominado “torque”.
- (21) Um pascal é a pressão exercida por uma força de 1 newton, uniformemente distribuída sobre uma superfície plana de 1 metro quadrado, normal à direção da força.
O pascal é também unidade de “tensão mecânica”.
- (22) Um joule é o trabalho realizado por uma força constante de 1 newton ao descolar seu ponto de aplicação numa distância de 1 metro na própria direção da força.
O joule é também unidade de “quantidade de calor” e de quaisquer outras modalidades de energia.
- (23) Um watt é a potência desenvolvida quando o trabalho de 1 joule é realizado em 1 segundo.
Com esta mesma unidade é medido também o “fluxo de energia” (calorífica, sonora etc.).
- (24) Um watt por metro quadrado é a densidade de um fluxo de energia uniforme de 1 watt, através de uma superfície plana de 1 metro quadrado de área, normal à direção de propagação da energia.
- (25) Um pascal.segundo é a viscosidade dinâmica de um fluído, cujo gradiente de velocidade sob uma tensão tangencial de 1 pascal é de 1 metro por segundo por afastamento normal ao plano de deslizamento igual a 1 metro.
- (26) O metro quadrado por segundo é a viscosidade cinemática de um fluído cuja viscosidade dinâmica é 1 pascal.segundo e cuja massa específica é 1 quilograma por metro cúbico.

I. M. ROZENBERG

- (27) O newton por metro é a tensão superficial de um líquido em cuja superfície livre atua, normalmente a qualquer extensão linear, uma força uniformemente distribuída de 1 newton por metro de comprimento dessa extensão.
- (28) Um mol é a quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos são os átomos contidos em 0,012 quilogramas de carbono 12.
- (29) Um ampère é a intensidade de uma corrente elétrica constante que circulando em dois condutores retilíneos, paralelos, de comprimentos indefinidos, de área de seção transversal desprezível e situados no vácuo a 1 metro de distância um do outro, produz entre esses condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento desses condutores.
- (30) O coulomb é a carga elétrica que atravessa, em 1 segundo, uma seção transversal de um condutor percorrido por uma corrente de intensidade invariável de 1 ampère.
A carga elétrica é também conhecida como "quantidade de eletricidade".
- (31) Um volt é a diferença de potencial elétrico entre os terminais de um elemento passivo de circuito, que dissipa a potência de 1 watt, quando percorrido por uma corrente de intensidade invariável de 1 ampère.
O volt é também unidade de "força eletromotriz" e de "força contraeletromotriz".
- (32) Um volt por metro é o gradiente de potencial uniforme que se estabelece num meio homogêneo e isótropo, quando a diferença de potencial entre dois planos equipotenciais, situados a 1 metro de distância um do outro é de 1 volt.
- (33) O newton por coulomb é a intensidade de campo elétrico num campo elétrico uniforme, no qual uma carga elétrica de 1 coulomb fica submetida a uma força de 1 newton. A unidade newton por coulomb é também conhecida como volt por metro.
- (34) Um ohm é a resistência elétrica de um elemento passivo de circuito que, submetido a uma diferença de potencial elétrico de 1 volt, é percorrido por uma corrente de intensidade de 1 ampère.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

O “ohm” é também unidade de “impedância” e de “reatância”, grandezas definidas para elementos de circuito percorridos por correntes alternadas.

(35) Um ohm.metro é a resistividade de um material homogêneo e isótropo, do qual uma porção cúbica de 1 metro de aresta tem uma resistência elétrica de 1 ohm entre duas faces opostas.

(36) Um siemens é a condutância de um elemento passivo de circuito cuja resistência elétrica é 1 ohm.

O siemens é também unidade de “admitância” e de “susceptância”, grandezas definidas para elementos de circuitos percorridos por correntes alternadas.

(37) Um ampère por metro quadrado é a densidade de corrente elétrica através de uma seção de circuito que, por metro quadrado de área, é atravessada por uma corrente constante de intensidade de 1 ampère.

(38) Um siemens por metro é a condutividade de um material, homogêneo e isótropo, cuja resistividade é 1 ohm.metro.

(39) Um coulomb por metro quadrado é a densidade elétrica superficial de uma superfície que, por metro quadrado de área contém uniformemente distribuída uma carga de 1 coulomb.

(40) Um newton.metro quadrado por coulomb é o fluxo do campo elétrico através de uma superfície plana de área de 1 metro quadrado situada num campo elétrico uniforme de 1 newton por coulomb, normalmente às linhas de campo.

(41) Um farad é a capacidade de um capacitor entre cujos terminais surge uma tensão igual a 1 volt quando carregado com uma carga elétrica igual a 1 coulomb.

(42) Um henry é a indutância de um elemento passivo de circuito entre cujos terminais se induz uma tensão constante igual a 1 volt, quando percorrido por uma corrente cuja intensidade varia uniformemente à razão de 1 ampère por segundo.

A unidade henry é também conhecida como weber por ampère e é também a unidade de “mútua indutância”.

I. M. ROZENBERG

- (43) Um henry por metro é $10^7/4\pi$ vezes a permeabilidade magnética do vácuo.
- (44) Um volt.ampère é a potência aparente de uma corrente alternada senoidal de valor eficaz igual a 1 ampère quando sob tensão elétrica de valor eficaz igual a 1 volt.
- (45) Um var é a potência reativa de um circuito percorrido por uma corrente alternada senoidal de valor eficaz igual a 1 ampère quando sob tensão elétrica de valor eficaz igual a 1 volt, defasada de $\pi/2$ radianos em relação à corrente.
- (46) Um tesla é a indução magnética de um campo magnético uniforme que sobre um condutor retilíneo de 1 metro de comprimento, situado no vácuo normalmente à direção do campo percorrido por uma corrente de intensidade igual a 1 ampère, exerce uma força de intensidade igual a 1 newton.
- (47) Um weber é o fluxo de indução magnética que atravessa uma superfície plana de área igual a 1 metro quadrado, normal à direção de um campo magnético uniforme de indução magnética igual a 1 tesla.
- (48) Um ampère é a força magnetomotriz de um circuito constituído por uma só espira na qual circula uma corrente de intensidade invariável igual a 1 ampère.
Esta unidade é também denominada “ampère-espira”.
- (49) Um ampère por metro é a intensidade de um campo magnético uniforme criado por uma corrente invariável de intensidade igual a 1 ampère que percorre um condutor retilíneo, de comprimento infinito e de área de seção transversal desprezível em qualquer ponto de uma superfície cilíndrica que tem como eixo o referido condutor e como diretriz uma circunferência de comprimento igual a 1 metro.
A intensidade de campo magnético é também conhecida como “gradiente de potencial magnético”.
- (50) Um ampère por weber é a relutância de um elemento de circuito magnético, no qual uma força magnetomotriz invariável de 1 ampère produz um fluxo de indução magnética uniforme de 1 weber.
- (51) O kelvin é a fração $1/273,16$ da temperatura termodinâmica do ponto tríplice da água.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

O kelvin é unidade de base cuja definição foi ratificada pela 13.^a CGPM (1967).

(52) Um grau Celsius é um centésimo da diferença entre as temperaturas de ebulição e de solidificação da água, sob pressão normal.

O grau Celsius não pertence ao SI, mas sua utilização é admitida em conexão com as demais unidades SI. Tem-se: ${}^{\circ}\text{C}=\text{K}$.

(53) Um kelvin por metro é o gradiente de temperatura que se verifica em um meio homogêneo e isótropo, quando a diferença de temperatura entre dois planos isotérmicos situados à distância de 1 metro um do outro é igual a 1 kelvin.

(54) Um joule é o trabalho realizado por uma força constante de 1 newton ao deslocar seu ponto de aplicação de uma distância de 1 metro na própria direção da força.

O joule é unidade de trabalho, de quantidade de calor e de todas as outras modalidades de energia.

(55) Um joule por kelvin é a capacidade térmica de um sistema homogêneo e isótropo, cuja temperatura aumenta de 1 kelvin quando se lhe fornece uma quantidade de calor igual a 1 joule.

“joule por kelvin” é também a unidade de “entropia”.

(56) Um joule por quilograma e por kelvin é o calor específico de uma substância que, por quilograma de massa, absorve uma quantidade de calor igual a 1 joule para aumentar sua temperatura de 1 kelvin.

(57) Um watt por metro e por kelvin é a condutividade térmica de um material homogêneo e isótropo, no qual se estabelece um fluxo de calor constante de densidade de 1 watt por metro quadrado para um gradiente de temperatura igual a 1 kelvin por metro.

(58) A candela é a intensidade luminosa, numa direção dada, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de freqüência 540x1 012 hertz e cuja intensidade energética naquela direção é 1/683 watt por esterradiano.

A candela é unidade de base cuja definição foi ratificada pela 16.^a CGPM (1979).

I. M. ROZENBERG

- (59) Um lúmen é o fluxo luminoso emitido por uma fonte puntiforme de intensidade luminosa invariável de 1 candela, em todas as direções, no interior de um ângulo sólido de 1 esterradiano.
- (60) Um lux é o iluminamento produzido numa superfície plana de área igual a 1 metro quadrado sobre a qual incide, normalmente e uniformemente distribuído, um fluxo luminoso de 1 lúmen.
O iluminamento é também conhecido como “aclaramento” ou “iluminância”.
- (61) Uma candela por metro quadrado é a luminância de uma fonte de 1 metro quadrado de área de superfície aparente e cuja intensidade luminosa é igual a 1 candela.
A grandeza luminância é também conhecida como “brilhância”.
- (62) O lúmen por metro quadrado é a exitância luminosa de uma superfície plana de 1 metro quadrado de área, que emite uniformemente um fluxo luminoso de 1 lúmen.
A exitância luminosa era, no passado, denominada “emitância luminosa” ou, também, “radiância”.
- (63) Um lux .segundo é a exposição luminosa de uma superfície com iluminamento de 1 lux, durante 1 segundo.
A exposição luminosa é também denominada “excitação luminosa”.
- (64) Um lúmen por watt é a eficiência luminosa de uma fonte que consome uma potência de 1 watt para cada lúmen emitido.
- (65) O “1 por metro” é o número de onda de uma radiação monocromática cujo comprimento de onda é igual a 1 metro.
- (66) Um watt por esterradiano é a intensidade energética constante em todas as direções de uma fonte que emite um fluxo de energia uniforme de 1 watt no interior de um ângulo sólido de 1 esterradiano.
- (67) Um watt por metro quadrado é a emitância energética de uma fonte superficial que emite uniformemente um fluxo energético igual a 1 watt por metro quadrado de sua área.
- (68) Um watt por esterradiano e por metro quadrado é a luminância energética numa dada direção, de uma fonte superficial de intensidade energética igual a 1 watt por esterradiano por metro quadrado de sua área projetada sobre um plano normal à direção considerada.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

- (69) Uma dioptria é a convergência de um sistema óptico cuja distância focal é igual a 1 metro no meio considerado.
- (70) Um becquerel é a atividade de um radionuclídio no qual se produz uma desintegração nuclear por segundo.
- (71) Um coulomb por quilograma é a exposição a uma radiação, tal que a carga total dos íons de mesmo sinal produzidos em 1 kg de ar, quando todos os eletrons liberados por fótons são completamente detidos no ar, é de 1 coulomb, em valor absoluto.
- (72) Um gray é a dose de radiação ionizante absorvida uniformemente por uma porção de matéria, à razão de 1 joule por quilograma de sua massa.
Segundo declaração do CIPM, de 1976, o gray pode ser utilizado também como unidade de "energia específica".
- (73) Um sievert é equivalente de dose de uma radiação igual a 1 joule por quilograma.
O sievert é nome adotado pela 16.^a CGPM. V. nota seguinte.

NOTAS:

1 - Conquanto a "dose absorvida" e o "equivalente de dose" sejam, ambas, grandezas medidas em "joule por quilograma", portanto com as mesmas dimensões, suas unidades têm nomes diferentes. Uma decisão do CIPM, de 1984, esclarece a razão dessa distinção de nomes. A grandeza "equivalente de dose" (H) é o produto de "dose absorvida" (D) de radiações ionizantes por dois fatores adimensionais; um deles é o "fator de qualidade" (Q) e o outro é o fator (N) representativo de todos os outros fatores de multiplicação prescritos pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica: $H = Q.N.D$.

Uma vez que para uma dada radiação, os valores de H e D, embora ambos medidos em joule/quilogramas, possam ser diferentes entre si (Quadro n.^o 1), para evitar a possibilidade de confusão, utilizam-se nomes diferentes para as unidades das grandezas de H e D.

2 - Em linguagem médica, a quantidade de energia radiante a que se expõe o corpo humano costuma ser expressa em termos de "dose" e a potência da radiação a que ele é exposto é medida usualmente em "doses por hora", embora a unidade SI correspondente seja o "gray por segundo".

QUADRO N.º 7

UNIDADES “NÃO SI” DE UTILIZAÇÃO ADMITIDA EM CONJUNTO COM O SI SEM RESTRIÇÃO DE PRAZO

GRANDEZA	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO USUAL	VALOR EM UNIDADE SI
Comprimento	unidade astronômica ⁽¹⁾	ua	$1,495\ 978 \times 10^{11}$ m
Comprimento	parsec ⁽²⁾	pc	$3,085\ 680 \times 10^{16}$ m
Volume	litro ⁽³⁾	l ou L	10^{-3} m ³
Ângulo plano	grau ⁽⁴⁾	°	$\frac{\pi}{180}$ rad
Ângulo plano	minuto ⁽⁵⁾	'	$\frac{\pi}{10\ 800}$ rad
Ângulo plano	segundo ⁽⁶⁾	"	$\frac{\pi}{648\ 000}$ rad
Tempo	minuto ⁽⁷⁾	min	60 s
Tempo	hora ⁽⁸⁾	h	3 600 s
Tempo	dia ⁽⁹⁾	d	86 400 s
Velocidade angular	rotação por minuto ⁽¹⁰⁾	rpm	$\frac{\pi}{30}$ rad.s ⁻¹
Intervalo de freqüências	oitava ⁽¹¹⁾	—	1
Massa	Unidade unificada de massa atômica ⁽¹²⁾	u ou uma	$1,660\ 57 \times 10^{-27}$ kg

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

Massa	tonelada ⁽¹³⁾	t	1 000 kg
Energia	eletronvolt ⁽¹⁴⁾	eV	$1,602\ 18 \times 10^{-19}\ \text{J}$
Intervalo de potência	decibel ⁽¹⁵⁾	dB	1
Decremento logarítmico	neper ⁽¹⁶⁾	Np	1

DEFINIÇÕES/OBSERVAÇÕES

- (1) A unidade astronômica é a distância média da Terra ao Sol.
O símbolo ua não é adotado internacionalmente.
- (2) O parsec é o comprimento do raio de uma circunferência na qual um ângulo de 1 segundo, com vértice no seu centro, subtende um arco cuja corda tem um comprimento igual a 1 unidade astronômica.
Segundo a União Internacional 1 pc=206 265 UA.
- (3) Um litro é o volume igual a 1 decímetro cúbico.
Contrariando a regra de escrita dos símbolos das unidades, a 16.^a CGPM (1979) adotou como símbolos da unidade litro a letra l (ele minúsculo) e a letra L (“ele” maiúsculo), recomendando a utilização deste último (L) sempre que as máquinas impressoras não permitam distinguir a letra l (ele minúsculo) do algarismo 1 (um).
Pelas regras de nomenclatura adotadas pela CGPM, o símbolo de uma Unidade SI deve ser grafado por uma letra maiúscula quando deriva de nome próprio, geralmente o de um cientista. Para justificar a utilização do símbolo L (“ele” maiúsculo) para a unidade “litro”, tem sido proposto à CGPM associá-lo ao sobrenome de Claude Emile Jean-Baptiste Litre (1716-1778), um artesão francês que se notabilizou pela produção de equipamentos de vidro utilizados em laboratórios de química, e por suas propostas de definição de uma unidade de medida de volume de líquidos.
- (4) O grau é o ângulo plano que, com centro numa circunferência, subtende um arco cujo comprimento é igual a 1/360 do comprimento dessa circunferência.

I. M. ROZENBERG

- (5) Um minuto é o ângulo plano igual a 1/60 do grau.
- (6) Um segundo é o ângulo plano igual a 1/60 do minuto.
- (7) Um minuto é o intervalo de tempo cuja duração é igual a 60 segundos. Não confundir o minuto de tempo com o minuto de ângulo.
- (8) Uma hora é o intervalo de tempo cuja duração é igual a 60 minutos.
Símbolo adotado pela 9.^a CGPM (1948).
- (9) Um dia é o intervalo de tempo cuja duração é igual a 24 horas.
- (10) Uma rotação por minuto é a velocidade angular de um ponto qualquer de um corpo rígido em rotação, não situado no eixo de rotação, que descreve um ângulo de 360 graus por minuto.
- (11) Uma oitava é o intervalo de duas freqüências cuja razão é igual a 2.
Dadas duas freqüências f_1 e $f_2 > f_1$ o número n de oitavas que as separam é $n = \log_2 \frac{f_2}{f_1}$.
- (12) Uma unidade atômica de massa é a massa igual a 1/12 da massa de um átomo de $^{12}_6\text{C}$.
Unidade utilizada em “atomística”; seus símbolos não são oficiais; também conhecida como “dalton”.
- (13) Uma tonelada é a massa de um corpo igual a 1 000 kg.
O símbolo t foi adotado pela CIPM em 1879.
- (14) Um eletronvolt é a energia cinética adquirida por um eletron ao passar de um ponto a outro de um campo elétrico entre os quais existe uma diferença de potencial igual a 1 volt, no vácuo.
- (15) Um decibel é o intervalo de potência igual a 1/10 do bel, isto é intervalo tal que 10 vezes o logaritmo decimal da razão entre as potências extremas seja o número de decibels desse intervalo.
Dadas duas potências P_1 e $P_2 > P_1$, o número n de decibels do seu intervalo é $n = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$.
- (16) Para uma grandeza de valor oscilante em função “periódica” do tempo e amortecida exponencialmente, o neper é o logaritmo neperiano da razão

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

entre os valores máximos dessa grandeza em dois “períodos” sucessivos. São exemplos de grandezas deste gênero a tensão e a intensidade de corrente elétrica num circuito percorrido por uma corrente oscilante, a amplitude de oscilação de um pêndulo num meio viscoso etc. Se, por exemplo, i_1 e i_2 são as intensidades máximas de uma corrente oscilante em dois ciclos sucessivos, o decremento logarítmico para essa corrente é $\log_e \frac{i_2}{i_1}$.

I. M. ROZENBERG

QUADRO N.º 8

UNIDADES “NÃO SI” DE UTILIZAÇÃO ADMITIDA
EM CARÁTER TEMPORÁRIO

GRANDEZA	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE SI
Comprimento	angstrom ⁽¹⁾	Å	10^{-10} m
Comprimento	milha marítima ou náutica ⁽²⁾	–	1 852 m
Área	are ⁽³⁾	a	10^2 m ²
Área	hectare ⁽³⁾	ha	10^4 m ²
Velocidade	nó ⁽⁴⁾	nó	$\frac{1\ 852}{3\ 600}$ m.s ⁻¹
Aceleração	gal ⁽⁵⁾	gal	10^{-2} m.s ⁻²
Pressão	bar ⁽⁶⁾	bar	10^5 Pa
Atividade	curie ⁽⁷⁾	Ci	$3,7 \times 10^{10}$ Bq.
Exposição	roentgen ⁽⁸⁾	R	$2,58 \times 10^{-4}$ C.kg ⁻¹
Equivalente de dose	rem ⁽⁹⁾	rem	10^{-2} Sv
Dose absorvida	rad ⁽¹⁰⁾	rad	10^{-2} Gy

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

DEFINIÇÕES/OBSERVAÇÕES

- (1) O angström é uma unidade utilizada para medida de comprimentos de onda de radiações eletromagnéticas, principalmente da luz e de raios X.
- (2) A milha marítima é uma unidade utilizada na navegação marítima e aérea, também conhecida como “milha marítima internacional”, cujo valor foi convencionado pela 1.^a Convenção Hidrográfica Internacional realizada em 1929, aproximadamente igual a 1/60 do comprimento do arco subtendido sobre a circunferência do equador terrestre por um ângulo central igual a 1 grau.
- (3) O are e o hectare e seus símbolos foram adotados pelo CIPM em 1879.
- (4) O nó é uma unidade utilizada em navegação marítima, igual a 1 milha marítima por hora.
- (5) O gal é uma unidade especial (igual à unidade CGS) utilizada em geodésia para exprimir a aceleração devida à gravidade.
- (6) O bar e seu símbolo foram adotados pela 9.^a CGPM (1948). Seu submúltiplo, “milibar”, é freqüentemente utilizado nas medições da pressão atmosférica.
- (7) O curie é uma unidade especial utilizada na Física Nuclear para medir a atividade de radionuclídeos, aprovada pela 12.^a CGPM (1964).
- (8) O roentgen é uma unidade utilizada para exprimir a exposição aos raios X e raios γ .
- (9) O rem é uma unidade utilizada em radioproteção.
- (10) Quando há possibilidade de confusão entre o rad, o nome desta unidade, e o símbolo do radiano, recomenda-se o uso do símbolo “rd” para a unidade rad.

I. M. ROZENBERG

QUADRO N.º 9

UNIDADES “NÃO SI” DE UTILIZAÇÃO ADMITIDA
EM CASOS MUITO ESPECIAIS

GRANDEZA	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE SI
Comprimento	fermi ⁽¹⁾	Fm	10^{-15} m
Área	barn ⁽²⁾	b	10^{-28} m ²
Massa	gama ⁽³⁾	γ	10^{-9} kg
Energia	rydberg ⁽⁴⁾	Ry	$2,179 \times 10^{-18}$ J
Energia	einstein ⁽⁵⁾	E	variável
Nível de audibilidade	fon ⁽⁶⁾	fon	
Intervalo musical	savart ⁽⁷⁾	Sav	3,32 oitavas
Atividade	rutherford ⁽⁸⁾	Rd	10^5 Bq
Momento dipolar	debye ⁽⁹⁾	D	$\frac{1}{3} \times 10^{-29}$ C.m
Densidade de fluxo	jansky ⁽¹⁰⁾	Jy	10^{-26} W.Hz ⁻¹ m ⁻²

DEFINIÇÕES/OBSERVAÇÕES

(1) O fermi é uma unidade utilizada em Física Nuclear para medida de comprimentos comparáveis ao “raio clássico do eletron”.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

- (2) O barn é uma unidade igual a 100Fm^2 , utilizada em Física Nuclear para exprimir as “seções eficazes”.
- (3) O gama é uma unidade de massa utilizada na literatura técnica inglesa e alemã como sinônimo de micrograma.
- (4) O rydberg é uma unidade de energia igual à necessária fornecer ao eletron para extraí-lo do nível em que se encontra num átomo normal de hidrogênio, igual a 13,6eV.
- (5) O einstein é uma unidade utilizada no estudo de processos fotoquímicos, igual à energia de um número de quanta igual ao Número de Avogadro. Seu valor é variável com a freqüência da radiação considerada.
- (6) O fon é o nível de audibilidade de um som que, em condições padronizadas, é tão audível quanto outro de freqüência igual a 1 000 Hz e de nível de intensidade sonora igual a 1 dB.
- (7) O savart é uma unidade de intervalo de dois sons igual a um milésimo do logarítmico decimal da razão entre suas freqüências.
- (8) O rutherford é uma atividade um radionuclídeo que produz 10^5 desintegrações em 1 segundo.
- (9) O debye é a ordem de grandeza dos momentos dipolares das “moléculas polares”.
- (10) O jansky é uma unidade utilizada em radio-astronomia para “densidade de fluxo” de fontes de radio-freqüência.

I. M. ROZENBERG

QUADRO N.º 10

UNIDADES DE UTILIZAÇÃO
FORMALMENTE DESACONSELHADA

GRANDEZA	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO USUAL	VALOR EM UNIDADE SI
Comprimento	unidade X ⁽¹⁾	X	$1,002 \times 10^{-13} \text{ m}$
Comprimento	mícron ⁽²⁾	μ	10^{-6} m
Volume	estere ⁽³⁾	st	1 m^3
Volume	lambda ⁽⁴⁾	λ	10^{-9} m^3
Massa	quilate (métrico) ⁽⁵⁾	—	$2 \times 10^{-4} \text{ kg}$
Força	dyne ⁽⁶⁾ ou dina	dyn	10^{-5} N
Força	esteno ⁽⁷⁾	sn	10^3 N
Força	quilograma-força ⁽⁸⁾	kgf	9,806 65 N
Pressão	milímetro de mercúrio ou torricelli ⁽⁹⁾	mm Hg ou tor	103,322 Pa
Pressão	barie ⁽¹⁰⁾	b	0,1 Pa
Pressão	atmosfera normal ^{** (11)}	atm	101 325 Pa
Trabalho e Energia	erg ⁽¹²⁾	erg	10^{-7} J
Trabalho e Energia	caloria ^{** (13)}	cal	4,186 8 J

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

Potência	cavalo-vapor ** ⁽¹⁴⁾	CV	735,5 W
Viscosidade cinemática	stokes ⁽¹⁵⁾	St	$10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Viscosidade dinâmica	poise ⁽¹⁶⁾	P	0,1 Pa.s
Indução magnética	gauss ** ⁽¹⁸⁾	Gs	10^{-4} T
Intensidade de campo magnético	oersted * ⁽¹⁸⁾	Oe	$19,894 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$
Fluxo magnético	maxwell * ⁽¹⁸⁾	Mx	10^{-8} Wb
Luminância	stilb ⁽¹⁷⁾	sb	$10^4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
Iluminamento	phot (ou fot)	ph	10^4 lx

OBSERVAÇÕES

- (1) A unidade X é uma unidade especial usada antigamente para medida de comprimentos de onda de raios X.
- (2) O micron é uma unidade de comprimento adotada pela CGPM em 1948 e abolida pela 13.^a CGPM em 1967.
- (3) O estere é uma unidade adotada pelo CIPM (1879) para medição de volumes de lenha.
- (4) O lambda é uma unidade adotada pelo CIPM (1880) para designar 1 milionésimo de litro, isto é, o microlitro.
- (5) O quilate é uma unidade adotada pela 4.^a CGPM (1907) para o comércio de pedras preciosas.
- (6) O dyne é uma unidade do sistema CGS.

I. M. ROZENBERG

- (7) O esteno é uma unidade do antigo sistema MTS francês.
 - (8) O quilograma-força é uma unidade do antigo sistema técnico métrico (MKfS).
 - (9) O milímetro de mercúrio é a pressão exercida sobre sua base por uma camada cilíndrica de mercúrio de 1 milímetro de altura, a 0 °C, num lugar em que a aceleração da gravidade é normal.
 - (10) O barie é uma unidade do sistema CGS.
 - (11) A atmosfera normal é uma unidade prática aceita pela 10.^a CGPM (1954).
 - (12) O erg é uma unidade do sistema CGS.
 - (13) O valor da caloria, no SI, é o convencionado pela 5.^a Conferência Internacional sobre Propriedades do Vapor (1956).
 - (14) O cavalo-vapor é a potência equivalente a 75 quilogrâmetros por segundo.
 - (15) O stokes é uma unidade do sistema CGS.
 - (16) O poise é uma unidade do sistema CGS.
 - (17) O stilb é uma unidade adotada pela 9.^a CGPM (1948).
- (*) As unidades assinaladas com asterisco pertencem ao sistema CGS eletromagnético a três dimensões e, portanto, não precisamente comparáveis com as correspondentes unidades do SI, que no caso das unidades elétricas, é a “quatro dimensões”.
- (**) As unidades assinaladas com 2 asteriscos figuram na publicação “Quadro Geral de Medida” do INMETRO, de 1998, como “admitidas temporariamente”. O valor assinalado da “caloria” é o que foi adotado pela 5.^a Conferência Internacional sobre as Propriedades do Vapor, em 1956.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

QUADRO N.º 11

UNIDADES “NÃO SI”

CONVERSÃO PARA O SI DE ALGUMAS UNIDADES ANTIGAS E OUTRAS DE UTILIZAÇÃO MAIS OU MENOS FREQÜENTE EMBORA DESACONSELHADA

UNIDADE	GRANDEZA	VALOR EM UNIDADE SI
abampère	Intensidade de corrente elétrica	10 A
abcoulomb	Carga elétrica	10 C
abfarad	Capacitância	10^9 F
abhenry	Indução magnética	10^{-9} H
abohm	Resistência elétrica	10^{-9} Ω
abvolt	Diferença de potencial elétrico	10^{-8} V
acre	Área	$4,047 \times 10^3$ m ²
almude	Volume	$31,9 \times 10^{-3}$ m ³
alqueire	Volume	$36,27 \times 10^{-3}$ m ³
alqueire do norte	Área	27 255 m ²
alqueire paulista	Área	24 200 m ²
alqueire mineiro	Área	48 400 m ²
ampere.hora	Carga elétrica	3 600 C
angstrom	Comprimento	10^{-10} m

I. M. ROZENBERG

ano-luz	Comprimento	$9,5 \times 10^{15}$ m
are	Área	100 m ²
arrátel	Massa	0,459 kg
arroba	Massa	14,688 kg
atmosfera normal	Pressão	$1,01325 \times 10^5$ Pa
bar	Pressão	10^5 Pa
barie	Pressão	0,1 Pa
barn	Área	10^{-28} m ²
barril (de petróleo)	Volume	0,159 m ³
braça	Comprimento	2,2 m
british thermal unity (BTU)	Quantidade de calor	1 055 J
btu/hora	Potência	0,293 W
bushel	Volume	0,036 m ³
cadeia	Comprimento	20,1168 m
caloria (termodinâmica)	Quantidade de calor	4,184 J
canada	Volume	$2,66 \times 10^{-3}$ m ³
carat	Massa	2×10^{-4} kg
cavalo-hora	Energia	$2,65 \times 10^6$ J
cavalo-vapor	Potência	735,5 W
centímetro de mercúrio	Pressão	1 334 Pa
cubito	Comprimento	0,66 m
curie	Atividade de radionuclídio	$3,7 \times 10^{10}$ Bq

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

dalton	Massa	$1,660\ 57 \times 10^{-27}$ kg
dracma (dram)	Massa	$1,772 \times 10^{-3}$ kg
dyne ou dina	Intensidade de força	10^{-5} N
eletron-volt	Energia	$1,602 \times 10^{-19}$ J
erg	Trabalho	10^{-7} J
estadio	Comprimento	206,25 m
fermi	Comprimento	10^{-15} m
franklin	Carga elétrica	$\frac{1}{3} \times 10^{-9}$ C
frigoria	Energia	4,186 8 J
gal	Aceleração	$10\ m.s^{-2}$
galão americano	Volume	$3,785 \times 10^{-3}$ m ³
galão inglês	Volume	$4,547\ 2 \times 10^{-3}$ m ³
gama	Indução magnética	10^{-9} T
gauss (*)	Indução magnética	10^{-4} T
gilbert	Força magnetomotriz	$\frac{10}{4\pi}$ A
grado	Ângulo plano	$\frac{\pi}{200}$ rad
grão (grain)	Massa	$6,48 \times 10^{-6}$ kg
hectare	Área	10^4 m ²
horse-power (HP)	Potência	745,7 W
jarda (yard)	Comprimento	0,914 4 m
lambert	Brilhância ou Luminância	$\frac{10^4}{\pi}$ m ⁻² .cd
légua	Comprimento	6 600 m

I. M. ROZENBERG

légua de sesmaria	Área	$43,56 \times 10^6 \text{ m}^2$
légua marítima	Comprimento	55 555,55 m
libra (pound)	Massa	0,453 kg
libra-força (pound force)	Intensidade de força	4,48 N
litro	Volume	10^{-3} m^3
litro de óleo	Energia	$16,7 \times 10^6 \text{ J}$
magneton de Bohr	Densidade de momento magnético	$9,27 \times 10^{-24} \text{ A.m}^2$
mão	Comprimento	0,101 6 m
marco	Massa	$229,5 \times 10^{-3} \text{ kg}$
maxwell (*)	Fluxo de indução magnética	10^{-8} Wb
metro de água	Pressão	9,806 65 Pa
micron	Comprimento	10^{-6} m
milha náutica ou marítima	Comprimento	1 852 m
milha terrestre (mile)	Comprimento	1 609,3 m
milibar	Pressão	10^2 Pa
milímetro de mercúrio	Pressão	133,322 Pa
moio	Volume	$828 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
nit	Brilhância	cd.m^{-2}
nó	Velocidade	$0,514\ 444 \text{ m.s}^{-1}$

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

oersted (*)	Intensidade de campo elétrico	79,577 A.m ⁻¹
oitava	Massa	3,586x10 ⁻³ kg
onça (apothecaries')	Massa	31,10x10 ⁻³ kg
onça (avoirdupois)	Massa	28,35x10 ⁻³ kg
onça (brasileira)	Massa	28,688x10 ⁻³ kg
onça fluida (americana)	Volume	28,413x10 ⁻⁶ m ³
onça fluida (britânica)	Volume	29,574x10 ⁻⁶ m ³
palmo (span)	Comprimento	22,86x10 ⁻² m
passo	Comprimento	1,65 m
pé (foot)	Comprimento	0,304 80 m
pé de água	Pressão	2 980 Pa
pé quadrado	Área	9,290 304 m ²
phot	Iluminamento	10 ⁴ lx
pica	Comprimento	4,293x10 ⁻³ m
piezo	Pressão	10 ³ Pa
poise	Viscosidade dinâmica	0,1 Pa.s
polegada (inch)	Comprimento	2,540x10 ⁻² m
polegada de mercúrio	Pressão	33 863,78 Pa
poncelet	Potência	980 W
poundal	Intensidade de força	0,138 25 N
quartilho	Volume	0,665x10 ⁻³ m ³

I. M. ROZENBERG

quarto	Volume	$0,946 \ 3 \times 10^{-3} \ m^3$
quilate métrico	Massa	$0,2 \times 10^{-3} \ kg$
quilograma-força	Intensidade de força	$9,806 \ 65 \ N$
quilogrâmetro	Trabalho	$9,806 \ 65 \ J$
quilowatt hora	Trabalho	$3 \ 600 \ 000 \ J$
quintal	Massa	$58,75 \ kg$
quintal métrico	Massa	$100 \ kg$
rad	Dose absorvida de radiação ionizante	$10^{-2} \ Gy$
radiolux	Radiância ou emitância	$10^4 \ lm \cdot m^{-2}$
rem	Equivalente de dose	$10^{-2} \ Sv$
rhe	Fluidez	$m^2 \cdot N^{-1} \cdot s^{-1}$
riemann	Indução magnética	$1 \ T$
roentgen	Exposição a raios X ou δ	$2,58 \times 10^{-4} \ C \cdot kg^{-1}$
rpm	Velocidade angular	$0,1047 \ rad \cdot s^{-1}$
rydberg	Energia	$2,179 \times 10^{-18} \ J$
slug	Massa	$14,59 \ kg$
statampère	Intensidade de corrente elétrica	$3,335 \ 635 \times 10^{-10} \ A$
statcoulomb	Carga elétrica	$3,335 \ 635 \times 10^{-10} \ C$
statfarad	Capacitância	$1,112 \ 646 \times 10^{-12} \ F$
stathenry	Indutância	$8,987 \ 584 \times 10^{11} \ H$

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

stohm	Resistência elétrica	$8,9875 \times 10^{11} \Omega$
statvolt	Diferença de potencial elétrico	299,7930 V
steno	Intensidade de força	10^3 N
stere	Volume	1 m^3
stilb	Luminância	10^4 cd.m^{-2}
stokes	Viscosidade cinemática	$10^{-4} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$
tarefa alagoana	Área	3 052 m ²
tarefa baiana	Área	4 356 m ²
tarefa cearense	Área	3 630 m ²
tonel	Volume	$957,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
tonelada americana (curta)	Massa	907,19 kg
tonelada antiga	Massa	793,218 kg
tonelada de refrigeração	Potência	3,511 kW
tonelada inglesa (longa)	Massa	1 016,05 kg
tonelada portuguesa	Massa	793,15 kg
torr	Pressão	133,322 Pa
unidade atômica de massa	Massa	$1,660\,57 \times 10^{-27} \text{ kg}$
unidade técnica de massa	Massa	9,806 65 kg

I. M. ROZENBERG

unidade X	Comprimento de onda	$1,002 \times 10^{-4}$ nm
vara	Comprimento	1,10 m
vela decimal	Intensidade luminosa	1 cd
vela hefner	Intensidade luminosa	0,9 cd

Nota - As unidades assinaladas com asterisco (*) têm sua equivalência em unidades SI determinadas por via experimental, portanto não rigorosamente. São unidades do antigo sistema C.G.S. a três dimensões.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

QUADRO N.º 12

VALORES DE ALGUMAS CONSTANTES FÍSICAS
EXPRESSOS EM UNIDADES SI

NOME DA CONSTANTE	SÍMBOLO (NÃO OFICIAL)	VALOR EM UNIDADE SI
Carga do eletron	e	1,602 177 33x10 ⁻¹⁹ C
Comprimento de onda concatenada ao eletron (de Compton)	λ_e	2,426 310 58x10 ⁻¹² m
Constante de Avogadro	N_o	6,022 136 7x10 ²³ mol ⁻¹
Constante de Boltzman	k	1,380 658x10 ⁻²³ J.K ⁻¹
Constante de Coulomb	$\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	8,987 551 788x10 ⁹ N.m ² .C ⁻²
Constante de Faraday	F	9,648 50x10 ⁴ C.mol ⁻¹
Constante de Planck	h	6,625 075 5x10 ⁻³⁴ J.s
Constante de Rydberg	R_o	1,097 373 m ⁻¹
Constante de Stefan-Boltzman	T	5,670 51x10 ⁻⁸ W.m ⁻² .K ⁻⁴
Constante dos gases perfeitos (Clapeyron)	R	8,314 510 J.mol ⁻¹ .K ⁻¹
Constante gravitacional	G	6,672 59x10 ⁻¹¹ N.m ² .kg ⁻²
Energia em repouso do eletron	E_e	8,186 10 ⁻¹⁴ J
Energia em repouso do neutron	E_n	1 505,19x10 ⁻¹³ J
Energia em repouso do proton	E_p	1 503,12x10 ⁻¹³ J
Magneton de Bohr ⁽¹⁾	μ_B	9,274x10 ⁻²⁴ A.m ² (ou J.T ⁻¹)

I. M. ROZENBERG

Magneton Nuclear ⁽²⁾	μ_n	5,050 79x10 ⁻²⁷ A.m ² (ou J.T ⁻¹)
Massa de eletron em repouso	m_e	9,109 389 7x10 ⁻³¹ kg
Massa do neutron em repouso	m_n	1,674 928 6x10 ⁻²⁷ kg
Massa do proton em repouso	m_p	1,672 623 1x10 ⁻²⁷ kg
Permeabilidade magnética do vácuo	μ_0	4 π x10 ⁻⁷ Wb.A ⁻¹ .m ⁻¹ (ou H.m ⁻¹)
Permissividade elétrica do vácuo	ϵ_0	8,854 187 817x10 ⁻¹² C ² .N ⁻¹ .m ⁻²
Quantum de fluxo magnético	$\Phi_0 = \frac{h}{2e}$	2,067 834 6x10 ⁻¹⁵ kg.m ² .A ⁻¹ .s ⁻²
Raio convencional do eletron	r_e	2,817 94x10 ⁻¹⁵ m
Raio de Bohr	R_B	5,291 8x10 ⁻¹¹ m
Relação carga/massa do eletron	$\frac{e}{m_e}$	1,758 819x10 ¹¹ C.kg ⁻¹
Relação de Josephson		4,835 979 kg ⁻¹ .m ² .s ² .A
Unidade unificada de massa atômica	u (ou uma)	1,660 548x10 ⁻²⁷ kg
Velocidade da luz no vácuo	c	2,997 924 58x10 ⁸ m.s ⁻¹
Volume molar do gás perfeito	V_0	22,414 10x10 ⁻³ m ³ .mol ⁻¹

DEFINIÇÕES/OBSERVAÇÕES

- (1) A unidade de momento magnético é definida pela expressão $\mu_B = \frac{eh}{4\pi m}$ onde "m" é a massa de um elétron, "e" a carga de um elétron e "h" é a constante de Planck.
- (2) O magneton nuclear é definido pela mesma expressão, onde "m" é a massa de um próton.

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

QUADRO N.º 13

UNIDADES CUJOS NOMES DERIVAM DE NOMES PRÓPRIOS
UNIDADES SI

UNIDADE	NOME PRÓPRIO	DADOS BIOGRÁFICOS
ampère	André Marie Ampère	físico francês (1775-1836)
becquerel	Henri Becquerel	físico francês (1852-1908)
coulomb	Charles Augustin Coulomb	físico francês (1736-1806)
farad	Michel Faraday	físico inglês (1791-1867)
gray	Thomas Gray	engenheiro inglês (1850-1908)
henry	Joseph Henry	físico norte-americano (1797-1878)
hertz	Heinrich Hertz	físico alemão (1857-1894)
joule	James Prescott Joule	físico inglês (1818-1889)
kelvin	William Thomson, Lord Kelvin	físico inglês (1824-1907)
newton	Isaac Newton	cientista inglês (1642-1727)
ohm	Georg Simon Ohm	físico alemão (1787-1854)
pascal	Blaise Pascal	físico e matemático francês (1623-1662)
siemens	Ernst Werner von Siemens	engenheiro alemão (1816-1892)
sievert	Rolf Maximilian Sievert	físico sueco (1896-1966)

I. M. ROZENBERG

tesla	Nikola Tesla	físico e inventor iugoslavo (croata) (1856-1943)
volt	Alessandro Giuseppe Anastasio Volta	físico italiano (1745-1827)
watt	James Watt	físico escocês (1736-1819)
weber	Wilhelm Eduard Weber	físico alemão (1804-1891)

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

QUADRO N.º 14

UNIDADES CUJOS NOMES DERIVAM DE NOMES PRÓPRIOS
UNIDADES “NÃO SI”

UNIDADE	NOME PRÓPRIO	DADOS BIOGRÁFICOS
angstrom	A.J. Angström	físico sueco (1814-1874)
bel	Alexander G. Bell	inventor americano (1847-1922)
celsius	Anders Celsius	astrônomo sueco (1701-1744)
curie	Maria Skłodowska Curie	física polonesa (1867-1934)
dalton	John Dalton	químico inglês (1766-1844)
debye	Peter J.W. Debye	físico e químico norte-americano (1884-1966)
einstein	Albert Einstein	físico naturalizado norte-americano (1879-1955)
fahrenheit	Gabriel Daniel Fahrenheit	físico polonês (1686-1736)
fermi	Enrico Fermi	físico naturalizado norte-americano (1901-1954)
franklin	Benjamin Franklin	cientista e diplomata norte-americano (1706-1790)
gal	Galileo Galilei	astrônomo e físico italiano (1564-1642)
gauss	Carl Friedrich Gauss	físico e matemático alemão (1777-1855)
gilbert	William Gilbert	médico inglês (1544-1603)

I. M. ROZENBERG

jansky	Karl Jansky	engenheiro americano (1905-1950)
lambert	Johann Heinrich Lambert	físico e astrônomo alemão (1728-1777)
maxwell	James Clerk Maxwell	físico escocês (1831-1879)
neper	John Neper ou Napier	matemático escocês (1550-1617)
oersted	Hans Christian Oersted	físico dinamarquês (1777-1851)
poise	Jean Louis Poiseville	físico e fisiologista francês (1799-1869)
poncelet	Jean Victor Poncelet	engenheiro e matemático francês (1788-1867)
riemann	Georg F. B. Riemann	matemático alemão (1826-1866)
roentgen	Wilhelm Conrad Roentgen	físico alemão (1845-1923)
rutherford	Lord Ernest Rutherford of Nelson	físico inglês (1871-1937)
rydberg	Johannes Robert Rydberg	físico sueco (1854-1919)
savart	Felix Savart	físico francês (1791-1841)
stokes	George G. Stokes	físico e matemático irlandês (1819-1903)
torr	Evangelista Torricelli	físico e matemático italiano (1608-1647)

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

QUADRO N.º 15

ALGUMAS UNIDADES BRITÂNICAS E AMERICANAS

NOME	SÍMBOLO USUAL	VALOR RELATIVO	VALOR EM UNIDADE SI
UNIDADES DE COMPRIMENTO			
inch	in ou “	-	0,025 4 m
foot	ft ou ‘	12 in	0,304 8 m
link		7,92 in	0,201 168 m
yard	yd	3 ft	0,914 4 m
fathom	fm	6 feet = 2 yd	1,828 8 m
pole ou rod ou perch	po	5,5 yd	5,029 2 m
chain		4 po	20,116 8 m
furlong	fur	220 yd	201,168 m
statute mile	ml	8 fur	1 609,344 m
league		3 ml	4 828,032 m
nautical league		3,454 ml	5 558,674 m
UNIDADES DE ÁREA			
square inch	sq.in	-	$6,451\ 6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
square foot	sq.ft	144 sq.in	0,092 9 m^2
square yard	sq.yd	9 sq.ft	0,836 1 m^2

I. M. ROZENBERG

square pole	sq.po	30,25 sq.yd	25,292 m ²
rood (britânica)	-	1 210 sq.yd	1 011,681 m ²
acre	ac	4 840 sq.yd	4 046,724 m ²
UNIDADES DE VOLUME			
cubic inch	cu.in	-	16,387x10 ⁻⁶ m ³
cubic foot	cu.ft	1 728 cu.in	0,028 317 m ³
cubic yard	cu.yd	27 cu.ft	0,764 55 m ³
shipping ton	-	40 cu.ft	1,132 7 m ³
UNIDADES DE CAPACIDADE BRITÂNICAS			
gill	-	-	1,424 1x10 ⁻⁴ m ³
pint	pt	4 gill	5,684x10 ⁻⁴ m ³
quart	qt	2 pt	1,138x10 ⁻³ m ³
imperial gallon	gal	8 pt	4,547 2x10 ⁻³ m ³
peck	pk	2 gal	9,092 4x10 ⁻³ m ³
bushel	bu	8 gal	36,377x10 ⁻³ m ³
quarter	-	8 bu	291,021x10 ⁻¹ m ³
UNIDADES DE CAPACIDADE AMERICANAS			
u.s. gill	-	-	1,183x10 ⁻⁴ m ³
u.s. pint	U.S. pt	4 U.S. gill	4,732x10 ⁻⁴ m ³

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

liquid quart	liq.qt	2 U.S. pt	$9,464 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
winchester gallon	-	-	$4,4048 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
dry quart	dry.qt	1/4 winchester gallons	$1,1012 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
u.s. peck	pk	8 dry quarts	$8,8096 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
u.s. gallon	U.S. gal	4 U.S. liq.qt	$3,7854 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
barrel	bbl	42 U.S. gal	$158,9952 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

UNIDADES DE MASSA - AVOIRDUPOIS

grain	gr	1/700 0 lb	$0,065 \times 10^{-3} \text{ kg}$
dram or drachm	dr	1/16 oz	$1,1772 \times 10^{-3} \text{ kg}$
ounce (britânico)	oz	1/16 lb	$28,350 \times 10^{-3} \text{ kg}$
avoirdupois pound	lb	16 oz	$453,592 \times 10^{-3} \text{ kg}$
stone	st	14 lb	6,350 kg
quarter	qr	2 st	12,700 kg
hundred weight (long)	cwt	4 qr	50,80 kg
hundred weight (short)	cwt	100 lb	45,3592 kg
long ton (britânico)	ton	20 cwt	1 016,05 kg
short ton (americano)	ton	2 000 lb	907,2 kg

UNIDADES DE MASSA - TROY

grain	gr	1/576 0 lb.troy	$0,065 \times 10^{-3} \text{ kg}$
carat	-	4 gr	$0,26 \times 10^{-3} \text{ kg}$

I. M. ROZENBERG

penny weight	dwt	24 gr	$1,56 \times 10^{-3}$ kg
ounce troy (americano)	oz	20 dwt	$31,10 \times 10^{-3}$ kg
pound troy	lb	12 oz	$373,2 \times 10^{-3}$ kg
UNIDADES DE MASSA - APOTHECARIES			
mite	-	-	$3,24 \times 10^{-6}$ kg
grain (britânico)	gr	20 mites	$64,8 \times 10^{-6}$ kg
scruple (americano)	-	20 gr	$1,296 \times 10^{-3}$ kg
drachm	-	3 scruples	$3,888 \times 10^{-3}$ kg
pound (britânico)	lb ap	12 oz	$373,24 \times 10^{-3}$ kg
ounce (britânica)	oz	8 drachms	$31,10 \times 10^{-3}$ kg
UNIDADES DE FORÇA			
pound weight	lbw	-	4,448 N
poundal	pdt	-	0,138 N
UNIDADES DE PRESSÃO			
inch of water	-	-	249 Pa
foot of water	-	-	2 989 Pa
pound per square inch (psi)	-	-	6 895 Pa
pound per square foot	-	-	47,88 Pa

O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES - SI

B I B L I O G R A F I A

- ANDRADE, PRIMO NUNES - Grandezas Físicas e Sistemas de Unidades, 1956.
- BRIDGMAN P.W. - Dimensional Analysis, 1932.
- CAMPOS, FRANCISCO BARROS - Padrões Públicos de Medir no Brasil - in Boletim n.º 45 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, SP.
- CONMETRO - Regulamentação Metrológica e Quadro Geral de Unidades de Medida, 1982.
- DAVIES, W.G. & MOORE, J.W. - Adopting SI Units in Introductory Chemistry, 1980.
- DECRETO-LEI N.º 81621 DE 3 DE MAIO DE 1978 - Quadro Geral de Unidades de Medida.
- DIAS, José Luciano de Matos - Medida, Normalização e Qualidade - Aspectos da História da Metrologia no Brasil - Inmetro, 1998.
- DIAS, José Luciano de Matos - Medida, Normalização e Qualidade - Sistema Internacional de Unidades - Inmetro, 2000.
- FISCHER, R. & ALII - Physikalisch-Technische Einheiten, 1987.
- GENERAL ELECTRIC S.A. - Quadro Geral de Unidades de Medida.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - Legislação Metrológica
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - Padrões Públicos de Medir no Brasil, 1952.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - Unidades Legais no Brasil, 1970.
- INSTITUTO EUVALDO LODI - Sistema Internacional de Unidades, 1994.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - Sistema Internacional de Unidades, 2000.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - Quadro Geral de Unidades de Medida - 1989 e 1998.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - Sistema Internacional de Unidades, 2003.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESOS E MEDIDAS - Atualize-se em Pesos e Medidas, 1964.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESOS E MEDIDAS - Sistema Internacional de Unidades, 1971 e 1979.

I. M. ROZENBERG

INSTITUTO NACIONAL DE PESOS E MEDIDAS - Quadro de Unidades Legais no Brasil, 1964.

INSTITUTO NACIONAL DE PESOS E MEDIDAS - Sistema Nacional de Metrologia- Unidades de Medida, 1969.

INSTITUTO NACIONAL DE PESOS E MEDIDAS - Quadro Geral de Unidades de Medida, 1978.

PRADO, LUIZ CINTRA DO - Estudo Comparativo dos Tipos Adotados para Sistemas de Unidades Mecânicas, 1946.

ROSA, INAH - Sistema Legal de Medidas Segundo a Legislação Metrológica Brasileira.

SENA, L.A. - Units of Physical Quantities and Their Dimensions. Moscou, 1972.

TAVORA, PITANGA - Unidades de Medida.

UVAROV & CHAPMAN - Dictionary of Science.

WEBER - Physical Units and Standards.



Campus de São Caetano do Sul
Praça Mauá 1 cep 09580-900 SP
T (0**11) 4239-3000 F (0**11) 4239-3131

Campus de São Paulo
Rua Pedro de Toledo, 1 071 cep 04039-033 SP
T (0**11) 5088-0808 F (0**11) 5088-0810

imt@maua.br
www.maua.br