

Sistema Internacional de Unidades

Apresentação

Sistema
Internacional
de Unidades

Nessa aula falaremos de grandezas e unidades, com ênfase no Sistema Internacional de Unidades - SI. Além disso, abordaremos alguns conceitos do VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia e as demais regras associadas ao sistema.

Esperamos que, ao final dessa aula, você conheça e aplique melhor os princípios do SI e seus aspectos formais, tais como, a grafia dos nomes e símbolos do SI e como o Sistema Internacional de Unidades foi estruturado. Esperamos também que você se familiarize com as definições do VIM, que entenda como se relacionam as grandezas e unidades de medida em um sistema de unidades e, finalmente, como fazer a conversão entre os diferentes sistemas métricos existentes.

Bons estudos!
Leonardo Gasperin

Sumário

Sistema
Internacional
de Unidades

Introdução	04
Sistema Internacional de Unidades	06
Grandezas e Unidades	08
As Grandezas e Unidades no SI	11
Unidades que não Pertencem ao SI	21
Múltiplos e Submúltiplos das Unidades de Medidas	22
Regras para Expressão e Grafia das Unidades.	28
Síntese	43
Referências.	44

Introdução

Você já teve a curiosidade de saber respostas para as questões: Por que medimos? O que medimos? Como medimos?

A necessidade de fazer medidas ou medir propriedades de objetos está ligada à nossa necessidade de conhecer melhor esses objetos e entender suas propriedades, tornando possível seu aperfeiçoamento e a realização de trocas comerciais.

O ato de medir está ligado a atividades simples. Observe que medimos o tempo todo. Em praticamente todas as nossas atividades diárias realizamos algum tipo de medida. Ao cozinhar fazemos medidas. Medimos quando colocamos combustível no carro, quando compramos alimentos, quando compramos roupas.

Para realizar uma medida, precisamos de uma referência, ou seja, um padrão. Os antigos definiram padrões de comprimento baseados em partes do corpo humano. Até hoje, em algumas atividades, também usamos esses padrões. Quando você quer saber se uma mesa cabe num canto da sala, você mede quantos palmos tem a mesa e quantos palmos tem o canto. Muitas vezes nós não temos uma fita métrica, uma régua ou uma trena à mão.

Usamos copos, xícaras e pratos na realização de receitas – um bolo sempre é feito com três xícaras de farinha de trigo. Mas pouca gente se pergunta se a xícara da sua casa

é igual à xícara de quem escreveu o livro de receitas. Ou a quantas xícaras do livro a sua xícara equivale.

Quando partimos para as relações de troca, esses problemas se ampliam e muito. Você pode imaginar o que aconteceria se fosse à venda da esquina comprar as famosas três xícaras de farinha? O vendedor poderia chegar com umas xicarazinhas de café e pronto. A bagunça estaria montada.

Para ter garantia de justas relações de troca, para que as definições feitas aqui e acolá sejam as mesmas, para que a linguagem das medidas seja comum, diversos esforços foram empreendidos para a definição de um sistema de medição universal, chamado Sistema Internacional de Unidades, o qual será nosso objetivo de estudo desta aula.

Sistema Internacional de Unidades

Sistema
Internacional
de Unidades

O Sistema Internacional de Unidades, em geral identificado pela sigla SI, foi sancionado em 1960 pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) e constitui a expressão moderna e atualizada do antigo Sistema Métrico Decimal. O SI é o nome do sistema prático de unidades de medidas de grandezas, adotado para ser único e coerente, com abrangência mundial. Entretanto, o SI não é uma convenção estática, e sim um instrumento que acompanha o progresso da metrologia. Portanto, certas decisões são revogadas ou modificadas, sempre buscando refletir as melhores práticas em vigor.

No Brasil, assim como na imensa maioria dos países, usamos o Sistema Internacional de Unidades que foi adotado por meio do Decreto nº 52.243, de 30 de agosto de 1963, mais tarde substituído pelo Decreto nº 63.323, de 12 de setembro de 1968.

Embora seja uma obrigatoriedade legal, o SI apresenta características positivas, que são basicamente as seguintes:

- Reprodução das unidades em qualquer parte do mundo.
- Unicidade: existe uma e apenas uma unidade para cada grandeza física [exemplo: o metro para comprimento, o quilograma para massa, o segundo para tempo, e assim por diante].

- Uniformidade: elimina confusões desnecessárias no uso dos símbolos.
- Relação decimal entre múltiplos e submúltiplos: a base 10 é conveniente para o manuseio da unidade de cada quantidade física e o uso de prefixos facilita a comunicação oral e escrita.
- Coerência: evita interpretações errôneas.

A reprodução das unidades é feita exclusivamente a partir de fenômenos naturais. Com exceção do quilograma, todas as outras unidades podem ser reproduzidas em qualquer parte do universo, pois os fenômenos físicos são fundamentais e as leis da física são as mesmas em qualquer parte do mundo. Entretanto, as demais características são obtidas desde que se respeitem algumas regras. Mas quais são essas regras? É o que veremos nos próximos tópicos.

Grandezas e Unidades

Para uniformizar o entendimento dos termos fundamentais utilizados em metrologia, criou-se o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM. Esse documento é como um dicionário específico para a metrologia, com significados iguais para todo o mundo.

Grandeza e unidades são dois termos fundamentais da metrologia. Por isso, antes de prosseguirmos, devemos estar seguros do seu significado.

- Grandezas

Segundo o VIM (2012), grandeza é:

Propriedade dum fenômeno de um corpo ou duma substância que pode ser expressa quantitativamente sob a forma dum número e duma referência.

Sistema
Internacional
de Unidades

Em outras palavras, é uma característica de um evento, de um objeto ou de um elemento que pode ser comparado numericamente com uma medida padrão. Observe os exemplos de grandeza que podem ser analisados em um fio condutor de cobre como o da figura 1.



Figura 1: Fio de cobre sem isolamento

1. Comprimento – a distância entre as duas pontas do fio.
2. Área – a espessura (bitola) do fio.
3. Massa – a resistência que esse corpo apresenta à mudança de sua velocidade, ou o quanto é difícil o seu deslocamento.
4. Temperatura – o nível de agitação das moléculas que compõem o fio.
5. Intensidade de corrente elétrica – a quantidade de elétrons que pode fluir pelo condutor.
6. Resistência elétrica – a oposição que o fio impõe à passagem da corrente elétrica

Assim, um simples fio de cobre pode ter inúmeras propriedades que o caracterizam. O que determinará qual dessas grandezas será utilizada é o propósito para o qual o fio será empregado.

Após a identificação da propriedade, surge seguinte a questão: como quantificar cada uma dessas propriedades?

Neste caso, o método utilizado é a comparação com uma medida de mesma grandeza que serve de referência. Essa medida de referência é denominada unidade de medida.

- Unidade de Medida

Segundo o VIM (2012), unidade de medida, ou simplesmente unidade, é:

Grandeza escalar real, definida e adotada por convenção, com a qual qualquer outra grandeza da mesma natureza pode ser comparada para expressar, na forma dum número, a razão entre as duas grandezas.

Em outras palavras, grandeza escalar real quer dizer um valor numérico pertencente ao conjunto dos números reais. No caso do metro, este valor é dado pelo comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $1/299.792.458$ (aproximadamente $0,000000003$ s) segundos. As grandezas de mesmo tipo são grandezas que podem ser comparadas entre si. Por exemplo, distância, altura, largura e profundidade são todas grandezas de comprimento.

A questão central na definição das unidades é a definição e a adoção por convenção de um valor de referência igual em todo o mundo para determinada grandeza. No caso do comprimento, a unidade de medida é o metro, ou seja, sempre que realizarmos medidas de comprimento, devemos usar o metro como comparação.



Figura 2: O metro, instrumento utilizado para medir comprimento

Mas, para as demais grandezas, qual deve ser a unidade que se deve utilizar?

Objetivando uma compreensão fácil e intuitiva da relação entre as unidades e grandezas, o SI definiu classes de unidades e grandezas, as quais apresentaremos a seguir.

As Grandezas e Unidades no SI

No SI distinguem-se duas classes de unidades: unidades de base e unidades derivadas.

Sob o aspecto científico, a divisão das unidades do SI nessas duas classes é arbitrária, porque não é uma imposição da física.

Entretanto, levando em consideração as vantagens de se adotar um sistema prático único para ser utilizado mundialmente nas relações internacionais, no ensino e no trabalho científico, decidiu-se basear o Sistema Internacional em sete unidades perfeitamente definidas, consideradas independentes sob o ponto de vista dimensional: o metro, o quilograma, o segundo, o ampere, o kelvin, o mol e a candela. Estas unidades do SI são chamadas unidades de base.

Unidade de Base

Unidade de medida que é adotada por convenção para uma grandeza de base. Em cada sistema coerente de unidades, há apenas uma unidade de base para cada grandeza de base.

(VIM 2012)

Na tabela 1 são apresentadas as definições para as unidades de base do SI.

Tabela 1: Definições das unidades de base

Unidade	Definição
metro	O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo, durante o intervalo de tempo de $1/299.792.458$ de segundo.
kilograma	O quilograma é a unidade de massa igual à massa do protótipo internacional do quilograma.
segundo	O segundo é a duração de $9.192.631.770$ períodos da radiação correspondente à transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do césio 133 a uma temperatura de 0 K.
ampere	O ampere é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida entre dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situada à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produz entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento.
kelvin	O kelvin é a fração $1/273,16$ da temperatura termodinâmica do ponto triplice da água.
mol	O mol é a quantidade de matéria de um sistema contendo tantas entidades elementares quanto átomos existem em 0,012 kg de carbono 12.
candela	A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e cuja intensidade energética naquela direção é de $1/683$ watt por esferoradiano.

Com a definição das unidades de base, suas respectivas grandezas são definidas como grandezas de base: comprimento, massa, tempo, corrente elétrica, temperatura, quantidade de matéria e intensidade luminosa. Segue a definição do VIM 2012.

Grandeza de Base

Grandeza dum subconjunto escolhido, por convenção, dum dado sistema de grandezas, no qual nenhuma grandeza do subconjunto possa ser expressa em função das outras.

VIM 2012

Na tabela 2 são apresentadas as unidades e seus respectivos símbolos de cada grandeza de base.

Tabela 1: Grandezas e unidades de base do SI		
Grandeza de base	Unidade de base	
	Nome	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	kilogram a	kg
Tempo	segundo	s
Corrente elétrica	ampere	A
Temperatura termodinâmica	kelvin	K
Quantidade de matéria	mol	mol
Intensidade luminosa	candela	cd

A segunda classe de unidades do SI abrange as unidades derivadas, isto é, as unidades que podem ser formadas combinando-se unidades de base segundo relações algébricas que interligam as grandezas correspondentes. Diversas destas expressões algébricas, em razão de unidades de base, podem ser substituídas por nomes e símbolos especiais, o que permite sua utilização na formação de outras unidades derivadas.

As unidades do SI destas duas classes constituem um conjunto coerente, na acepção dada habitualmente à expressão “sistema coerente de unidades”, isto é, sistema de unidades ligadas pelas regras de multiplicação e divisão, sem qualquer fator numérico diferente de 1.

Podemos observar essa relação na figura 3. Perceba que todas as unidades derivadas são formadas por uma ou mais unidades de base ou unidade derivada.

É importante acentuar que cada grandeza física tem uma só unidade do SI, mesmo que esta unidade possa ser expressa sob diferentes formas. Porém o inverso não é verdadeiro: a mesma unidade do SI pode corresponder a várias grandezas. Assim, joule por kelvin (J/K) é o nome da unidade do SI para a grandeza capacidade térmica, como também para a grandeza entropia; da mesma forma, ampere (A) é o nome da unidade do SI para a grandeza de base corrente elétrica, como também para a grandeza derivada força magnetomotriz. O nome da unidade não é suficiente, então, para se conhecer a grandeza medida – essa regra se aplica não somente aos textos científicos e técnicos, como também, por exemplo, aos instrumentos de medição.

Uma grandeza derivada dependerá da combinação de algumas das grandezas de base e a expressão desta dependência é chamada dimensão de uma grandeza.

Dimensão duma Grandeza

Expressão da dependência duma grandeza em relação às grandezas de base de um sistema de grandezas, na forma dum produto de potências de fatores correspondentes às grandezas de base, omitindo-se qualquer fator numérico.

VIM 2012

Por exemplo, a área e o volume, grandezas derivadas, são dependentes da grandeza de base chamada comprimento.

De acordo com a figura 4, o comprimento de cada uma das arestas do cubo é representado por L . A área de uma das faces do cubo é dada por $L \times L = L^2$. O volume do cubo, porção que o cubo ocupa no espaço, é dado por $L \times L \times L = L^3$.

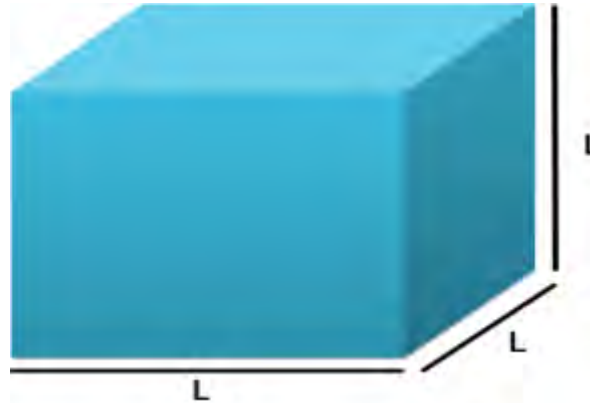


Figura 3: Um cubo onde o comprimento das arestas é representado por L

Significa que a área tem dimensão 2 e o volume dimensão 3 em relação ao comprimento.

Outro exemplo é a grandeza de velocidade: distância (grandeza de comprimento) dividida pelo tempo.

Na tabela a seguir, são exemplificadas outras grandezas de base e grandezas derivadas expressas por meio de símbolos da dimensão, que esclarecem a dependência entre as grandezas.

Tabela 3: Expressão dimensional de grandezas de base e derivadas

Grandezas de base	Expressão
Comprimento	L
Massa	M
Tempo	T
Grandezas derivadas	Expressão
Velocidade	LT^{-1}
Aceleração	LT^{-2}
Força	MLT^{-2}
Pressão	$ML^{-1}T^{-2}$
Massa específica	ML^{-3}

Sistema
Internacional
de Unidades

Algumas grandezas, entretanto, são chamadas adimensionais, ou seja, não são expressas em termos das grandezas de bases. São exemplos o coeficiente de atrito, o índice de refração e a deformação linear.

Sistema
Internacional
de Unidades

Grandeza Adimensional – Grandeza sem Dimensão

Grandeza para a qual todos os expoentes dos fatores correspondentes às grandezas de base, na sua dimensão, são nulos. As unidades de medida e os valores de grandezas adimensionais são números, mas tais grandezas contêm mais informação do que um simples número.

Sistema
Internacional
de Unidades

Na figura 4 ilustramos a conexão das unidades derivadas com as unidades de base, deixando visível que, a partir de operações de multiplicação e divisão, podemos obter todas as unidades derivadas a partir das unidades de base.

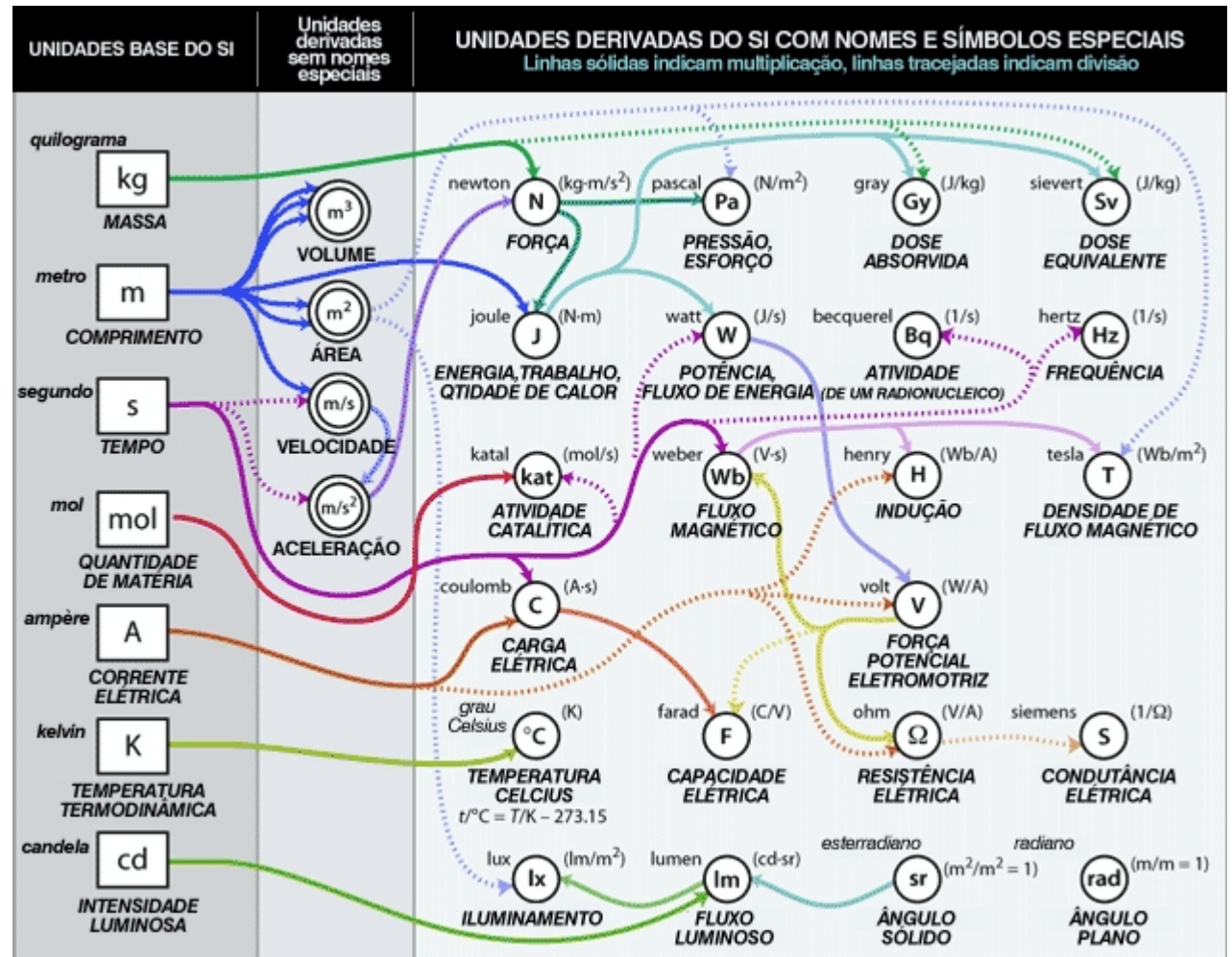


Figura 4: Diagrama com a relação entre as unidades do SI (linhas contínuas indicam multiplicação e linhas tracejadas indicam divisão)

Mesmo com a criação do SI, não se deixou de usar unidades de outro sistema de grandezas. Então como devemos proceder quando nos depararmos com unidades fora do SI? Veremos isso a seguir.

Unidades que não Pertencem ao SI

Apesar do esforço do SI para padronizar as unidades das principais grandezas, algumas unidades, por serem amplamente difundidas, têm papel tão importante que é necessário conservá-las para uso geral com o Sistema Internacional de Unidades. Mas a combinação das unidades da tabela 4 com unidades do SI para formar unidades compostas não deve ser praticada senão em casos limitados, a fim de não perder as vantagens de coerência das unidades do SI.

A tabela 4 apresenta alguns casos que são usados mais frequentemente e sua relação com as unidades do SI.

Tabela 4: Unidades fora SI, mas em uso com o SI

Grandeza	Unidade	Símbolo	Relação SI
Tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 3600 s
	dia	d	1 d = 86 400 s
Volume	litro	L ou l	1 L = 10^{-3} m ³
Massa	tonelada	t	1 t = 1000 kg
Ângulo plano	grau	°	1° = (pi/180) rad

Sistema
Internacional
de Unidades

Há diversas outras unidades que não fazem parte do SI, e existem documentos específicos que apresentam todas as unidades, pertencentes ou não ao SI. Um deles é o Quadro Geral de Unidades de Medidas, publicado pelo Inmetro (<http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes/qgunidademedida.pdf>).

Mais adiante veremos como converter as unidades que não fazem parte do SI para aquelas que são pertencentes.

Com a restrição de utilizarmos somente unidades pertencentes ao SI, criou-se um problema: em determinadas situações, a escala da referência definida ficou grande ou pequena demais, de modo que teríamos de utilizar números com diversos algarismos para quantificar a grandeza. A solução para esse problema será vista em seguida.

Múltiplos e Submúltiplos das Unidades de Medidas

Quando medimos, podemos encontrar valores muito grandes ou muito pequenos para uma determinada unidade. Assim, qual seria, em metros, a distância entre a Terra e a Lua? Ou o tamanho de uma bactéria?

Para simplificar a compreensão e a escrita, criaram-se múltiplos e submúltiplos das unidades de medidas. O múltiplo de uma unidade é obtido pela multiplicação de uma dada unidade de medida por um número inteiro maior que um e submúltiplo é uma unidade de medida obtida pela divisão de uma dada unidade de medida por um número inteiro maior do que um.

Os múltiplos e submúltiplos definidos no SI são múltiplos e submúltiplos de dez. O fator de multiplicação ou divisão pode ser representado por uma base 10 (potência de 10). O expoente positivo indica um múltiplo e o expoente negativo indica um submúltiplo. Por exemplo:

- Kilometro (kilo = 10^3) é um múltiplo do metro: multiplicar o metro por 1000.
- Milimetro (mili = 10^{-3}) é um submúltiplo do metro: dividir um metro por 1000.

Para melhor entendimento, a tabela 5 apresenta o nome e o símbolo de todos os prefixos para a escrita de múltiplos e submúltiplo das unidades de medidas, pertencentes ou não ao SI. Também traz a base 10 associada a cada um deles. Este conhecimento é fundamental para os processos de conversão entre múltiplos e submúltiplos de unidades.

Tabela 5: Prefixos dos múltiplos e submúltiplos

Sistema
Internacional
de Unidades

Múltiplos		
Nome	Símbolo	Base
deca	da	10^1
hecto	h	10^2
kilo	k	10^3
mega	M	10^6
giga	G	10^9
tera	T	10^{12}
peta	E	10^{15}
exa	E	10^{18}
zetta	Z	10^{21}
yotta	Y	10^{24}

Submúltiplos		
Nome	Símbolo	Base
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
fernto	f	10^{-15}
atto	a	10^{-18}
zepto	z	10^{-21}
yocto	y	10^{-24}

Conversão entre Múltiplos e Submúltiplos de uma Unidade de Medida

Para converter múltiplos e submúltiplos de uma unidade de medida, é fundamental saber fazer cálculos utilizando potências de 10. Mostraremos a seguir as operações matemáticas necessárias para modificar de um múltiplo para outro.

1. Para elevar 10^n ($N > 0$): escrever a quantidade de zeros da potência à direita do número 1.

a. $10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10.000 = 10^4$

b. $10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 1\ 000\ 000 = 10^6$

c. $10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10\ 000\ 000 = 10^7$

2. Para elevar 10^{-n} ($N > 0$): escrever a quantidade de zeros da potência à esquerda do número 1, colocando a vírgula depois do primeiro zero que se escreveu.

a. $1 / (10 \times 10 \times 10 \times 10) = 1/10\ 000 = 0,000\ 1 = 10^{-4}$

b. $1 / (10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10) = 1/1\ 000\ 000 = 0,000\ 001 = 10^{-6}$

c. $1 / (10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10) = 1/10\ 000\ 000 = 0,000\ 000\ 1 = 10^{-7}$

3. Para transformar números inteiros em potências de 10:

a. $300 = 3 \times 100 = 3 \times 10^2$

b. $7000 = 7 \times 1000 = 7 \times 10^3$

c. $10.000 = 10 \times 1000 = 1 \times 10^4 = 10^4$

4. Para transformar números decimais em potências de 10:

a. $0,004 = 4 \times 0,001 = 4 \times 10^{-3} = 4/10^3$

b. $0,000\ 8 = 8 \times 0,000\ 1 = 8 \times 10^{-4} = 8/10^4$

c. $0,000\ 09 = 9 \times 0,000\ 01 = 9 \times 10^{-5} = 9/10^5$

5. Aplicação das operações matemáticas para a conversão de múltiplos:

a. $25\text{ km} = 25 \times 10^3\text{ m} = 25 \times 1000\text{ m} = 25\ 000\text{ m}$

b. $25\text{ mm} = 25 \times 10^{-3}\text{ m} = 25 \times 0,001\text{ m} = 0,025\text{ m}$

6. Aplicação das operações matemáticas para a conversão de múltiplos envolvendo unidades com mais de uma dimensão. Nesse caso, o múltiplo da unidade também tem a mesma dimensão da unidade, embora não seja explícita na grafia. Assim, $\text{mm}^3 = \text{m}^3 \times \text{m}^3 = (\text{mm})^3$.

Outro modo de pensarmos é que, para o cálculo do volume, temos a multiplicação de três comprimentos. Lembrando o cubo da figura 4 e supondo que L é igual a 3 mm, calculamos o volume:

$$\text{Volume} = L * L * L$$

$$\text{Volume} = 3 \text{ mm} * 3 \text{ mm} * 3 \text{ mm}$$

$$\text{Volume} = 27 \text{ mm}^3$$

Ou em Metros

$$\text{Volume} = 3 * 10^{-3} \text{ m} * 3 * 10^{-3} \text{ m} * 3 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Volume} = 27 * 10^{-9} \text{ m}^3$$

a. $27 \text{ mm}^3 = 27 \times (10^{-3} \times 10^{-3} \times 10^{-3}) \text{ m}^3 = 27 \times 10^{-9} = 0,000\ 000\ 025 \text{ m}^3$

b. $15 \text{ m}^2 = 15 \times (10^3 \times 10^3) \text{ m}^2 = 15 \times 10^6 \text{ mm}^2 = 15\ 000\ 000 \text{ mm}^2$

Ao longo do texto, podemos observar as diversas maneiras de expressar o resultado da nossa medida. Entretanto, qual delas é a mais correta? A resposta para a pergunta será apresentada a seguir.

Regras para Expressão e Grafia das Unidades

As regras para expressão e grafia das unidades são apresentadas na Resolução Conmetro nº 12, de 12 de outubro de 1988. Recentemente, o VIM 2012 trouxe algumas mudanças, tendo em vista a reintrodução do “k” no alfabeto português e por ser a primeira edição luso-brasileira do VIM 2012. Essas regras podem ser divididas em três grandes grupos: grafia por extenso, grafia dos símbolos e grafia dos números.

Grafia dos Nomes de Unidades

Quando escritos por extenso, os nomes de unidades começam por letra minúscula, mesmo quando têm o nome de um cientista (por exemplo, ampere, kelvin, newton, etc.), exceto o grau Celsius.

Na expressão do valor numérico de uma grandeza, a respectiva unidade pode ser escrita por extenso ou representada pelo seu símbolo (por exemplo, kilovolts por milímetro ou kV/mm), não sendo admitidas combinações de partes escritas por extenso com partes expressas por símbolo.

Quando os nomes de unidades são escritos ou pronunciados por extenso, a formação do plural obedece às seguintes regras básicas:

- a) Os prefixos do SI são invariáveis.
- b) Os nomes de unidades recebem a letra “s” no fim de cada palavra (exceto nos casos da alínea c):

- Por exemplo: amperes, candelas, curies, farads, grays, joules, kelvins, kilogramas, parsecs, roentgens, volts, webers.
 - Quando são palavras compostas em que o elemento complementar de um nome de unidade não é ligado a este por hífen. Por exemplo: metros quadrados, milhas marítimas, unidades astronômicas.
 - Quando são termos compostos por multiplicação, em que os componentes podem variar independentemente um do outro. Por exemplo: amperes-horas, newtons-metros, ohms-metros, pascals-segundos, watts-horas, etc.
- c) Os nomes ou partes dos nomes de unidades não recebem a letra “s” no fim:
- Quando terminam pelas letras s, x ou z. Por exemplo: siemens, lux, hertz.
 - Quando correspondem ao denominador de unidades compostas por divisão. Por exemplo: quilômetros por hora, lumens por watt, watts por esterradiano.
 - Quando, em palavras compostas, são elementos complementares de nomes de unidades e ligados a estes por hífen ou preposição. Por exemplo: anos-luz, elétron-volts, kilogramas-força, unidades (unificadas) de massa atômica, etc.

Grafia dos Símbolos de Unidades

A grafia dos símbolos de unidades obedece às seguintes regras básicas:

a) Os símbolos são invariáveis, não sendo admitido colocar, após eles, ponto de abreviatura, “s” de plural, sinais, letras ou índices. Por exemplo: o símbolo do watt é sempre W, qualquer que seja o tipo de potência a que se refira: mecânica, elétrica, térmica, acústica, etc.

b) Os prefixos do SI nunca são justapostos no mesmo símbolo. Por exemplo: unidades com GWh, nm, pF, etc. não devem ser substituídas por expressões em que se justapõem, respectivamente, os prefixos mega e kilo, mili e micro, micro e micro, etc.

c) Os prefixos do SI podem coexistir num símbolo composto por multiplicação ou divisão. Por exemplo: kN.cm, k Ω .mA, kV/mm, M Ω .cm, kV/ms, μ W/cm².

d) Os símbolos de uma mesma unidade podem coexistir num símbolo composto por divisão. Por exemplo: Ω .mm²/m, kWh/h.

e) O símbolo é escrito no mesmo alinhamento do número a que se refere, e não como expoente ou índice. São exceções os símbolos das unidades não pertencentes ao SI de ângulo plano (° ‘ “), os expoentes dos símbolos que têm expoente, o sinal ° do símbolo do grau Celsius e os símbolos que têm divisão indicada por traço de fração horizontal.

f) O símbolo de uma unidade composta por multiplicação pode ser formado pela justaposição dos símbolos componentes e que não cause ambiguidade (VA, kWh, etc.), ou

mediante a colocação de um ponto entre os símbolos componentes na base da linha ou à meia altura (N.m ou N.m, m.s⁻¹ ou m.s⁻¹, etc.).

g) O símbolo de uma unidade que contém divisão pode ser formado por qualquer das três maneiras exemplificadas a seguir:

$$W/(sr.m^2), W.sr^{-1}.m^{-2}, \frac{W}{sr.m^2}$$

Sistema
Internacional
de Unidades

Esta última forma não deve ser empregada quando o símbolo, escrito em duas linhas diferentes, puder causar confusão.

h) Quando um símbolo com prefixo tem expoente, deve-se entender que esse expoente afeta o conjunto prefixo-unidade, como se esse conjunto estivesse entre parênteses. Por exemplo:

$$dm^3 = 10^{-3} m^3$$

$$mm^3 = 10^{-9} m^3$$

Grafia dos Números

As prescrições desta seção não se aplicam aos números que não representam quantidade (por exemplo: numeração de elementos em sequência, códigos de identificação, datas, números de telefone).

a) Para separar a parte inteira da parte decimal de um número, é empregada sempre uma vírgula; quando o valor absoluto do número é menor que 1, coloca-se 0 à esquerda da vírgula.

b) Os números que representam quantias em dinheiro, ou quantidades de mercadorias, bens ou serviços em documentos para efeitos fiscais, jurídicos e/ou comerciais, devem ser escritos com os algarismos separados em grupos de três, a contar da vírgula para a esquerda e para a direita, com pontos separando esses grupos entre si. Nos demais casos, é recomendado que os algarismos da parte inteira e os da parte decimal dos números sejam separados em grupos de três, a contar da vírgula para a esquerda e para a direita, com pequenos espaços entre esses grupos (por exemplo: em trabalhos de caráter técnico ou científico), mas é também admitido que os algarismos da parte inteira e os da parte decimal sejam escritos seguidamente (isto é, sem separação em grupos).

c) Para exprimir números sem escrever ou pronunciar todos os seus algarismos:

- Para os números que representam quantias em dinheiro ou quantidades de mercadorias, bens ou serviços, são empregadas de maneira geral as palavras:

mil = 10 ³ = 1 000	milhão = 10 ⁶ = 1 000 000
bilhão = 10 ⁹ = 1 000 000 000	trilhão = 10 ¹² = 1 000 000 000 000

Sistema
Internacional
de Unidades

- Para trabalhos de caráter técnico ou científico, é recomendado o emprego dos prefixos do SI ou fatores decimais da tabela 5.

Espaçamentos entre Número e Símbolo

O espaçamento entre um número e o símbolo da unidade correspondente deve atender à conveniência de cada caso. Assim, por exemplo:

- Em frases de textos correntes, é dado normalmente o espaçamento correspondente a uma ou a meia letra, mas não se deve dar espaçamento quando há possibilidade de fraude.
- Em colunas de tabelas, é facultado utilizar espaçamentos diversos entre os números e os símbolos das unidades correspondentes.

Pronúncia dos Múltiplos e Submúltiplos Decimais das Unidades

Os nomes dos múltiplos e submúltiplos decimais das unidades são pronunciados por extenso, prevalecendo a sílaba tônica da unidade. Por exemplo: os múltiplos e submúltiplos decimais do metro devem ser pronunciados com acento tônico na penúltima sílaba (mé) – megametro, micrometro (distinto de micrômetro, instrumento de medição), nanometro, etc. O VIM 2012 não impõe tal forma de escrita, dando também a opção de se continuar escrevendo prefixos associados às unidades de medida do SI na forma convencional e adotada ao longo de anos, como é o caso das palavras kilometro, decimetro, centimetro e milimetro.

Grandezas Expressas por Valores Relativos

É aceitável exprimir, quando conveniente, os valores de certas grandezas em relação a um valor determinado da mesma grandeza tomado como referência, na forma de fração ou percentagem. Por exemplo: a massa específica, a massa atômica ou molecular, a condutividade.

Até este capítulo, falamos apenas do SI e de suas regras e definições. A partir de agora, veremos sua relação com os demais sistemas de grandezas existentes no mundo.

Conversão de Unidades de Fora do SI para Unidades do SI

Embora o objetivo do SI seja a padronização das unidades de medidas utilizadas, diversas outras unidades são utilizadas pelo mundo devido a aspectos culturais ou de disseminação destas. Assim, é fundamental sabermos como converter as unidades que

estão fora do SI para a unidade de medida do SI para a respectiva grandeza. Devido ao grande número de unidades existentes, apresentaremos as que ainda são facilmente encontradas no cotidiano agrupadas de acordo com sua grandeza.

As unidades pertencentes às grandezas básicas são de fácil conversão, pois o cálculo envolve apenas uma unidade. Portanto, para a conversão é necessário haver algum valor de equivalência entre as unidades, os quais são apresentados nas tabelas que se seguem. Para os demais valores, podemos fazer por proporcionalidade, regra de três.

Por exemplo, na tabela 6, o valor de 1 metro equivale a 39,0701 polegadas, sendo o inverso, 1 polegada equivale a 0,0254 m.

Tabela 6: Conversão de unidades de comprimento

Comprimento – Unidade no SI é metro [m]						
	metro	polegada	pé	jarda	milha	milha náutica
metro	1	39,3701	3,2808	1,0936	0,0006	0,0005
polegada	0,0254	1	0,0833	0,0278	$1,58 \times 10^{-5}$	$1,37 \times 10^{-5}$
pé	0,3048	12	1	0,3333	0,0002	0,0002
jarda	0,9144	36	3	1	0,0006	0,0005
milha	1609,34	63360	5280	1760	1	0,87
milha náutica	1852,00	72913,39	6076,12	2025,37	1,15	1

Por exemplo, na tabela 7, o valor de 1 kilograma equivale a 2,2046 libras e o de 1 libra equivale a 0,4536 kg.

Tabela 7: Conversão de unidades de massa

Massa – Unidade no SI é kilograma [kg]					
	kilograma	tonelada	quilate	libra	onça
kilograma	1	0,001	5000	2,2046	35,2739
tonelada	1000	1	5 000 000	2204,62	35273,94
quilate	0,0002	2×10^{-7}	1	0,0004	0,0071
libra	0,4536	0,0005	2267,9635	1	16
onça	0,0283	$2,835 \times 10^{-5}$	141,7477	0,0625	1

Sistema
Internacional
de Unidades

Por exemplo, na tabela 8, o valor de 1 pascal equivale a 0,0075 milímetros de mercúrio e o de 1 mmHg equivale a 133,322 Pa.

Tabela 8: Conversão de unidades de pressão

Pressão – Unidade no SI é pascal [Pa]				
	pascal	bar	atm	mmHg
pascal	1	$1 \cdot 10^{-5}$	$9,8692 \times 10^{-6}$	0,0075
bar	100 000	1	0,9869	750,0638
atm	101 325	1,0132	1	760,0021
mmHg	133,322	0,0013	0,0013	1

Por exemplo, na tabela 9, o valor de 1 m³ equivale a 264,1722 galão e o de 1 galão equivale a 0,0038 m³.

Tabela 9: Conversão de unidades de volume

Volume – Unidade no SI é metro cúbico [m³]				
	m³	litros	galão	barril
m³	1	1000	264,1722	6,2898
litro	0,001	1	0,2642	0,0063
galão	0,0038	3,7854	1	0,0238
barril	0,159	158,9872	42	1

Sistema
Internacional
de Unidades

Por exemplo, na tabela 10, o valor de 1 watt equivale a 0,0013 cavalo-vapor e o de 1 hp equivale a 745,6999 W.

Tabela 10: Conversão de unidades de potência

Potência – Unidade no SI é watt [W]			
	watt	cavalo	cavalo-vapor
watt	1	0,0014	0,0013
cavalo	735,4988	1	0,9863
cavalo-vapor	745,6999	1,0139	1

Por exemplo, na tabela 11, o valor de 1 joule equivale a 0,2388 calorias e o de 1 cal equivale a 4,1868 J.

Tabela 11: Conversão de unidades de energia

Energia – Unidade no SI é joule [J]			
	joule	calorias	BTU
joule	1	0,2388	0,0009
calorias	4,1868	1	0,004
BTU	1055,0559	251,9958	1

Sistema
Internacional
de Unidades

A conversão de temperatura é um pouco distinta das conversões anteriores, pois é uma conversão entre escalas diferentes. A figura 5 apresenta as diferentes escalas entre três unidades de temperatura: kelvin, graus Celsius e graus Fahrenheit. A grande diferença entre as unidades de temperatura é que, enquanto nas unidades de kelvin e graus Celsius, para um mesmo intervalo, a escala está dividida em 100 pontos, a escala de graus Fahrenheit está dividida em 180 pontos.

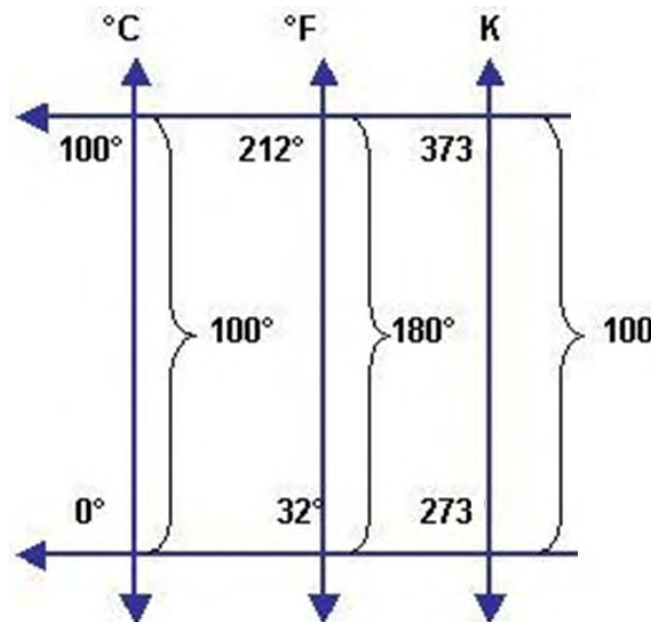


Figura 5: As diferentes escalas termométricas

Dois erros na expressão de temperatura são bastante recorrentes: confundir graus Celsius com graus centígrados e expressar kelvin em graus. No primeiro caso, graus centígrados se refere a qualquer escala dividida em 100 graus, ou seja, não é uma unidade de medida. No segundo caso, kelvin não é uma escala termométrica definida, mas somente uma unidade de medida.

Na tabela 12 são apresentadas as equações para conversão entre as unidades de temperatura. As letras K, C e F significam o valor da temperatura em kelvin, graus Celsius e graus Fahrenheit, respectivamente.

Tabela 12: Conversão de unidades de temperatura

	kelvin	grau Celsius	grau Fahrenheit
kelvin	$K = K$	$K = C + 273,15$	$K = (F + 459,67) \times \frac{5}{9}$
grau Celsius	$C = K - 273,15$	$C = C$	$C = (F - 32) \times \frac{5}{9}$
grau Fahrenheit	$F = \frac{9}{5} * K - 459,67$	$F = \frac{9}{5} * C + 32$	F = F

Por exemplo, o valor de 100 kelvins equivale a $-279,67$ °F e o de 100 °F equivale a 310,93 K.

Outra situação que podemos encontrar é unidades que derivam de outras duas ou mais unidades. Neste caso, devemos realizar a conversão de cada unidade envolvida. Como exemplo, podemos utilizar uma unidade de velocidade kilometro por hora (km/h), sabendo que a unidade definida do SI para a grandeza velocidade é metro por segundo (m/s). Para realizarmos a conversão de km/h para m/s, devemos converter de km para m e de hora para segundo. Se:

$$1 \text{ km} - 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ h} - 3600 \text{ s}$$

Então, para uma velocidade de 80 km/h, teremos:

$$80 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 80 * \frac{1000}{3600} * \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$80 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 22,2222 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para o caso inverso e tendo a velocidade de 22,2222 m/s, teremos

$$22,2222 \frac{m}{s} = 22,2222 * \frac{1000}{1000} * \frac{3600}{3600} * \frac{m}{s}$$

Sistema
Internacional
de Unidades

$$22,2222 \frac{m}{s} = 22,2222 * \frac{3600}{1000} * \frac{km}{h}$$

$$22,2222 \frac{m}{s} = 80 \frac{km}{h}$$

Síntese da Aula

Sistema
Internacional
de Unidades

As propriedades de fenômenos, corpos ou substâncias que medimos são chamadas de grandezas físicas ou simplesmente grandezas.

As grandezas físicas podem ser divididas em dois tipos: grandezas de base e grandezas derivadas. As grandezas de base são independentes de qualquer outra. Como exemplos, podemos citar a massa, o tempo e o comprimento. E as grandezas derivadas são aquelas que dependem da combinação de algumas grandezas de base ou derivadas. Existe ainda a grandeza adimensional. Sua característica se resume ao fato de não ser expressa em termos de grandeza de base.

No Brasil, usamos o Sistema Internacional de Unidades (SI), um sistema de unidades que facilita o entendimento de informações nas relações comerciais e científicas em todo o mundo. Por convenção, as unidades têm nomes e símbolos, que obedecem a regras que devem ser observadas por todos aqueles que adotam esse sistema.

Todas as medidas que efetuamos serão expressas através das unidades do SI e através dos múltiplos ou submúltiplos. Assim, é mais fácil expressar quilômetros do que metros para expressar a distância entre duas cidades, por exemplo.

Milhares de unidades foram utilizadas em diversos períodos da história. Entretanto, não tivemos a intenção de mostrar todas aqui, e sim fazer você entender a relação entre diferentes sistemas de grandezas e unidades. Por isso, não é preciso decorar todas as unidades, mas sim aprender a utilizá-las.

Referências

Sistema
Internacional
de Unidades

Quadro geral de unidades de medida: resolução Conmetro nº 12/88 / Inmetro, Senai – Departamento Nacional. 4. ed. – Rio de Janeiro: Ed. Senai, 2007. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes/qgunidademedida.pdf>>.

SISTEMA Internacional de Unidades - SI. 2012

Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2012). 1ª edição luso-brasileira, autorizada pelo BIPM, da 3ª edição internacional do VIM - International Vocabulary of Metrology — Basic and general concepts and associated terms - JCGM 200:2012).