

Aula 2 |

Sistema Internacional de Unidades

Curso:

Metrologia Básica

Aula 2 – Sistema Internacional de Unidades

Autor:

Regis Pinheiro Landim

Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro**Presidente:**

Marcos Heleno Guerson de Oliveira Junior

Diretor de Planejamento e Articulação Institucional:

Paulo Henrique Lima Brito

Coordenador-Geral do Centro de Capacitação:

Luiz Fernando Rust da Costa Carmo

Equipe Técnica do Centro de Capacitação:

Edson Seiti Miyata

Kelly Fernandes Pereira

Luiz Antonio Silva dos Santos

Marcia de Souza Santos

Matheus Fernandes Cunha

Inmetro - Outubro/2020

Sumário

Apresentação

Objetivos da aula

Tópico 1 | Introdução ao Sistema Internacional de Unidades (SI)

p. 4

Tópico 2 | Grandezas e Unidades

p. 9

Tópico 3 | Múltiplos e Submúltiplos de uma Unidade de Medida

p. 18

Tópico 4 | Conversão de Unidades de Fora do SI para Unidades do SI

p. 22

Tópico 5 | Regras para Expressão e Grafia das Unidades

p. 27

Síntese

p. 34

Referências

p. 35



Olá, cursista!

Nesta aula, você será apresentado ao **Sistema Internacional de Unidades (SI)**. Trata-se de um sistema de **medição universal**, criado para uniformizar o entendimento de termos fundamentais das grandezas físicas, possibilitando a troca de informações nas relações comerciais e científicas por todo o mundo. Por ser um sistema de medição universal, o conhecimento sobre o SI é imprescindível quando falamos em metrologia.

Objetivos da aula:

- Compreender a definição do SI e sua importância para as transações econômicas e científicas
- Estudar os conceitos de grandeza e de unidade
- Entender como são feitas as conversões entre múltiplos e submúltiplos de uma unidade de medida
- Reconhecer algumas regras para expressão e grafia das unidades de medidas

Tópico 1

Introdução ao Sistema Internacional de Unidades (SI)

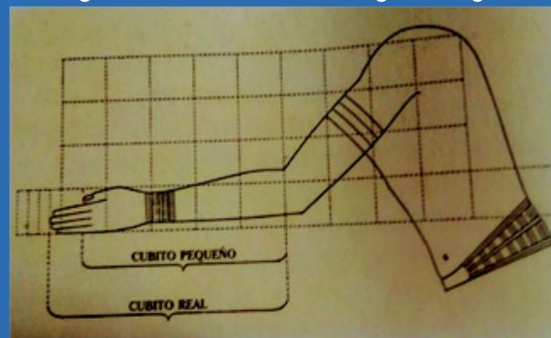
1.1 A importância de um sistema de medição universal

Para realizar uma medida, precisamos de uma referência, ou seja, de um padrão. Os antigos definiram padrões de comprimento baseados em partes do corpo humano, como o comprimento dos pés, a espessura das mãos e as pontas dos dedos, entre outros.

Você lembra?

Como já vimos, os egípcios, na Antiguidade, utilizavam as medidas do cotovelo até a ponta do dedo do faraó como unidade de comprimento. Esta medida foi denominada **cúbito real**.

Figura 1 – Cúbito real no Egito Antigo



Fonte: <http://globalcoleccion.com>

Até hoje, em algumas atividades, também usamos esses padrões. Quando você quer saber se uma mesa cabe num canto da sala, por exemplo, você mede quantos palmos tem a mesa e quantos palmos tem o canto. Isso acontece porque, muitas vezes, não temos uma fita métrica, uma régua ou uma trena à mão, concorda?

Usamos copos, xícaras e pratos na realização de receitas. Por padrão, em uma receita, um bolo é feito com três xícaras de farinha de trigo, mas poucas pessoas se perguntam se a xícara da sua casa é igual à xícara de quem escreveu o livro de receitas. Também poucas pessoas se perguntam a quantas “xícaras do livro” a “xícara de casa” 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 para a receita do livro? 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.

1.2 A criação do SI

O **Sistema Internacional de Unidades (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.



O Sistema Internacional de Unidades, em geral identificado pela sigla SI, recebeu este nome em 1960, pela Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM). Ele constitui a expressão moderna e atualizada do antigo Sistema Métrico Decimal.

A seguir, veremos um breve histórico (e o embasamento legal) do SI, no Brasil e no mundo.

- **Breve histórico do SI no Brasil e no Mundo**

O SI começou formalmente com a **Convenção do Metro**, assinada em 1875, por 17 países, incluindo o Brasil, um dos países pioneiros no que tange à adoção do sistema métrico, hoje denominado SI. Essa tradição metrológica do Brasil remonta aos idos de 1862, período em que foi promulgada a Lei Imperial n.º 1157, assinada por D. Pedro II, que estabelecia o citado sistema métrico em todo território nacional.

Somente em 1938, no governo de Getúlio Vargas, o Governo Federal resolveu repensar a questão metrológica, procurando reformular a legislação, através da criação de organismos oficiais encarregados de exercer a atividade de metrologia: o Instituto Nacional de Tecnologia – INT, os órgãos metrológicos estaduais (os Institutos de Pesos e Medidas/IPEM) e os municipais, sob a coordenação do antigo Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio. Esse Ministério passou a ter competência para estabelecer o quadro de unidades de medida e expedir normas especiais referentes às medições e instrumentos de medir.

Em 1961, com a Lei nº 4.048/61, foi criado o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (INPM), a partir da Divisão de Metrologia do INT. Já em 1963, o quadro de unidades de medida foi formalmente estabelecido por meio do Decreto nº 52.243/63, mais tarde substituído pelo Decreto nº 63.323/68. Estava pronta e em pleno funcionamento a estrutura metrológica brasileira, ancorada na metrologia legal, para atender às necessidades de crescimento industrial e comercial do país. Essas necessidades foram sendo rapidamente ampliadas e, em 1973, com a Lei nº 5.966/73, o INPM foi transformado no Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia).

1.3 As principais características do SI

A utilização do SI é uma obrigatoriedade legal e apresenta as seguintes características básicas:

- **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.

Com a redefinição do SI, ocorrida mundialmente em 20 de maio de 2019 (na comemoração do dia mundial da metrologia), **todas as unidades de base passaram a ser definidas a partir de constantes físicas da natureza** (por exemplo, a carga elétrica, ou a constante de Planck). Assim, as unidades do SI passaram a ter maior exatidão, maior confiabilidade e maior uniformidade: elas podem ser obtidas em qualquer lugar do mundo, com a mesma consistência de valores e com menores incertezas, o que se reflete em toda a cadeia de rastreabilidade, desde os laboratórios de pesquisa até a indústria e o comércio.

Leia a matéria especial da BBC sobre a nova definição do quilograma: “Por que 1 kg já não pesará 1 kg?”

Link: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-41789539>





Assista ao vídeo “Redefinição do sistema internacional de unidades” e aprenda um pouco mais sobre este assunto. Está disponível no material complementar, no ambiente virtual de aprendizagem do curso.

É necessário, entretanto, seguir as regras estabelecidas para a uniformização mundial do SI. Mas quais são essas regras? É o que veremos nos próximos tópicos da aula.

Tópico 2

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. Vejamos alguns termos, expressos nessa aula, a começar pelas definições de grandeza e unidade, que fazem parte do **SI**.

2.1 Grandezas

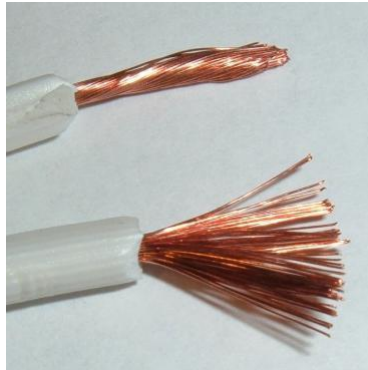
Segundo o VIM (2012), grandeza é:

a propriedade de um fenômeno de um corpo ou de uma substância que pode ser expressa quantitativamente sob a forma de um número e de uma referência.

Em outras palavras, **grandeza é uma característica de um evento, de um objeto ou de um elemento que pode ser comparado numericamente com uma medida padrão**. Vamos compreender essa definição por meio de um exemplo.

Em um fio condutor de cobre, podemos identificar as seguintes grandezas:

Figura 2 - fio de cobre sem isolamento



Fonte: Wikipedia

- **Comprimento** – a distância entre as duas pontas do fio.
- **Área** – a espessura (bitola) do fio.
- **Massa** – a resistência que esse corpo apresenta à mudança de sua velocidade, ou o quanto é difícil o seu deslocamento.
- **Temperatura** – o nível de agitação das moléculas que compõem o fio.
- **Intensidade de corrente elétrica** – a quantidade de elétrons que pode fluir pelo condutor.
- **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 a seguinte 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**.

2.2 Unidade de Medida

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

a 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 $1/299\,792\,458$ segundos (aproximadamente $0,000000003$ s). 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 3 – O metro, instrumento utilizado para medir comprimento



Fonte: Wikipedia

E 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 veremos a seguir.

2.3 As Grandezas e Unidades no SI

No Sistema Internacional de Unidades (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 **kilograma**, o **segundo**, o **ampere**, o **kelvin**, o **mol** e a **candela**. Essas unidades do SI são chamadas **unidades de base**. Conheceremos mais detalhes sobre elas a seguir.

2.3.1 Unidade de Base

O VIM (2012) define unidade de base como sendo a:

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.

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

Tabela 1: Definições das unidades de base

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

Grandeza	Unidade	Como é Definido
Tempo	segundo (s)	Usando-se o valor numérico fixo da frequência do céσιο $\Delta\nu_{Cs}$, que é a frequência de transição hiperfina do estado fundamental em repouso do átomo de céσιο 133, igual a 9 192 631 770 quando expresso na unidade Hz, a qual é igual a s ⁻¹ .
Comprimento	metro (m)	Usando-se o valor numérico fixo da velocidade de luz no vácuo c igual a 299 792 458 quando expresso na unidade m s ⁻¹ , em que o segundo é definido em termos da frequência do céσιο $\Delta\nu_{Cs}$.
Massa	kilograma (kg)	Usando-se o valor numérico da constante de Planck h igual a $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ quando expresso na unidade J s, a qual é igual a kg m ² s ⁻¹ , em que o metro e o segundo são definidos em termos de c e $\Delta\nu_{Cs}$.
Corrente elétrica	ampere (A)	Usando-se o valor numérico fixo da carga elétrica elementar e igual a $1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ quando expresso na unidade C, a qual é igual A s, em que o segundo é definido em termos de $\Delta\nu_{Cs}$.
Temperatura termodinâmica	kelvin (K)	Usando-se o valor numérico fixo da constante de Boltzmann k igual a $1,380\ 649 \times 10^{-23}$, quando expresso na unidade J K ⁻¹ , a qual é igual kg m ² s ⁻¹ K ⁻¹ , onde o kilograma, o metro, e o segundo são definidos em termos de h , c e $\Delta\nu_{Cs}$.
Quantidade de substância	mol (mol)	Um mol contém exatamente $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ entidades elementares. Este número é o valor numérico fixado da constante de Avogador, N_A , quando expresso na unidade mol ⁻¹ e é chamado de número de Avogador.

Fonte: Inmetro

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.

- **Grandeza de Base**

Conforme a definição do VIM (2012), grandeza de base é definida como:

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

Na tabela 2, podemos observar as unidades e seus respectivos símbolos de cada grandeza de base.

Tabela 2 – Grandezas e Unidades de Base do SI

Grandeza de base		Unidade de base do SI	
Nome	Símbolo	Nome	Símbolo
comprimento	<i>l, x, r, etc</i>	metro	m
massa	<i>m</i>	kilograma	kg
tempo, duração	<i>t</i>	segundo	s
corrente elétrica	<i>I, i</i>	ampere	A
temperatura termodinâmica	<i>T</i>	kelvin	K
quantidade de substância	<i>n</i>	mol	mol
intensidade luminosa	<i>I_v</i>	candela	cd

Fonte: Inmetro

2.3.2 Unidades Derivadas

A segunda classe de unidades do SI abrange as **unidades derivadas**, isto é, as unidades que podem ser formadas a partir da combinação de unidades de base, segundo relações algébricas que interligam as grandezas correspondentes. Diversas dessas 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 das classes - unidades de base e unidades derivadas - 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.

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**.

2.4 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.

A tabela 3 apresenta alguns casos que são usados mais frequentemente e sua relação com as unidades do SI.

Tabela 3: Unidades fora SI, mas em uso com o SI

Grandeza	Nome da unidade	Símbolo da unidade	Valor em unidades do SI
tempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora	h	1 h = 60 min = 3.600 s
	dia	d	1 d = 24 h = 86.400 s
ângulo de plano	grau	°	1° = ($\pi/180$) rad
	minuto	'	1' = (1/60)° = ($\pi/10\ 800$) rad
	segundo	"	1" = (1/60)' = ($\pi/648\ 000$) rad
área	hectare	ha	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²
volume	litro	L, l	1 L = 1 l = 1 dm ³ = 10 ³ cm ³ = 10 ⁻³ m ³
massa	tonelada	t	1 t = 10 ³ kg

Fonte: Inmetro



A combinação das unidades da tabela 3 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.



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 a brochura da 9ª edição do Sistema Internacional de Unidades, editado pelo Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), em inglês e em francês, que pode ser acessado no material complementar, disponível no ambiente virtual de aprendizagem do curso.

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.

Tópico 3

Múltiplos e Submúltiplos de uma Unidade de Medida

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.

Múltiplo de uma unidade

É obtido pela multiplicação de uma dada unidade de medida por um número inteiro maior do que um.

Submúltiplo de uma unidade

É 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 4 apresenta o nome e o símbolo de todos os prefixos para a escrita de múltiplos e submúltiplos 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 4: Prefixos dos múltiplos e submúltiplos

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

Fonte: Inmetro



Para aprofundar-se um pouco mais nos conceitos que envolvem grandezas e unidades, acesse o material complementar “Sistemas internacional de unidades”, disponível no ambiente virtual de aprendizagem.

● 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. Dessa forma, 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**.

- $10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10\,000 = 10^4$
- $10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 1\,000\,000 = 10^6$
- $10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10\,000\,000 = 10^7$

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.

- $1 / (10 \times 10 \times 10 \times 10) = 0,0001 = 10^{-4}$
- $1 / (10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10) = 0,000001 = 10^{-6}$
- $1 / (10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10) = 0,0000001 = 10^{-7}$

3. Para transformar números inteiros em potências de 10:

- $300 = 3 \times 100 = 3 \times 10^2$
- $7000 = 7 \times 1000 = 7 \times 10^3$
- $10000 = 10 \times 1000 = 1 \times 10^4$

4. Para transformar números decimais em potências de 10:

- $0,004 = 4 \times 0,001 = 4 \times 10^{-3} = 4 / 10^3$
- $0,0008 = 8 \times 0,0001 = 8 \times 10^{-4} = 8 / 10^4$
- $0,00009 = 9 \times 0,00001 = 9 \times 10^{-5} = 9 / 10^5$

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

- $25 \text{ km} = 25 \times 10^3 \text{ m} = 25 \times 1000 \text{ m} = 25\,000 \text{ m}$
- $25 \text{ mm} = 25 \times 10^{-3} \text{ m} = 25 \times 0,001 \text{ m} = 0,025 \text{ m}$

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, $mm^3 = m^3 \times m^3 = (mm)^3$.

Outro modo de pensarmos é que, para o cálculo do volume, temos a multiplicação de três comprimentos. A partir da fórmula do volume de um cubo de lado L e supondo que L é igual a 3 mm , calculamos o volume:

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

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

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

Ou em Metros:

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

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

$$27\text{ mm}^3 = 27 \times (10^{-3} \times 10^{-3} \times 10^{-3})\text{ m}^3 = 27 \times 10^{-9}\text{ m}^3 = 0,000000027\text{ m}^3$$

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 no tópico 4.

Tópico 4

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 à disseminação dessas. 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 5, o valor de 1 metro equivale a 39,0701 polegadas, sendo o inverso, 1 polegada equivale a 0,0254 m.

Tabela 5: 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

Fonte: Inmetro

Já na tabela 6, o valor de 1 kilograma equivale a 2,2046 libras e o de 1 libra equivale a 0,4536 kg.

Tabela 6: 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

Fonte: Inmetro

Na tabela 7, o valor de 1 pascal equivale a 0,0075 milímetros de mercúrio e o de 1 mmHg equivale a 133,322 Pa.

Tabela 7: Conversão de unidades de pressão

Pressão - Unidade no SI é pascal (Pa)				
	pascal	bar	atm	mmHg
pascal	1	1.10^{-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

Fonte: Inmetro

Por exemplo, na tabela 8, o valor de 1 m³ equivale a 264,1722 galão e o de 1 galão equivale a 0,0038 m³.

Tabela 8: Conversão de unidades de volume

Volume - Unidade no SI é metro cúbico (m³)				
	m ³	litros	galão	barril
m ³	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

Fonte: Inmetro

Na tabela 9, o valor de 1 watt equivale a 0,0013 cavalo-vapor e o de 1 hp equivale a 745,6999 W.

Tabela 9: 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

Fonte: Inmetro

Na tabela 10, o valor de 1 joule equivale a 0,2388 calorias e o de 1 cal equivale a 4,1868 J.

Tabela 10: Conversão de unidades de energia

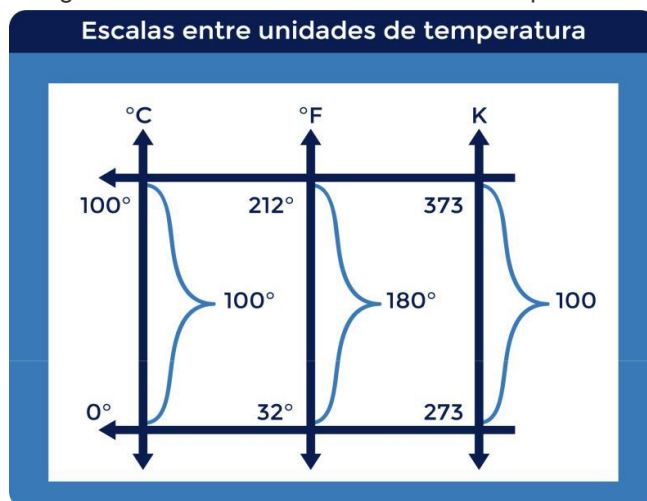
Energia - Unidade no SI é joule (J)			
	joule	calorias	BTU
joule	1	0,2388	0,0009
calorias	4,1868	1	0,004
BTU	1055,0559	251,9958	1

Fonte: Inmetro

Assim, a conversão entre números de unidades diferentes (mas de mesma natureza) é facilmente obtida através dos fatores de correção e da operação de regra de três, nos casos acima (ou seja, quando existe apenas um fator de proporcionalidade). Conversões entre unidades diferentes das descritas nas tabelas acima (com apenas um fator de proporcionalidade entre elas) podem ser feitas obtendo-se os fatores de conversão. Há diversos aplicativos (e páginas na internet) disponíveis com esta finalidade.

A **conversão** de temperatura é um pouco distinta das conversões anteriores, pois é uma conversão entre escalas diferentes. A figura a seguir 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 4 – Escalas entre unidades de temperatura



Fonte: Inmetro



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 11 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 11: Conversão de unidades de temperatura

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	$F = \frac{9}{5} \times K - 459,67$	$F = \frac{9}{5} \times C + 32$	$F = F$

Fonte: Inmetro

Por exemplo, o valor de 100 kelvins equivale a $-279,67\text{ }^{\circ}\text{F}$ e o de $100\text{ }^{\circ}\text{F}$ equivale a $310,93\text{ K}$.

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:

$$1\text{ km} = 1\,000\text{ m}$$

$$1\text{ h} = 3\,600\text{ s}$$

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

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

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

Para o caso inverso e tendo a velocidade de $22,2222\text{ m/s}$, teremos:

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

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

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

Tópico 5

Regras para Expressão e Grafia das Unidades

As regras para expressão e grafia das unidades são apresentadas na [1ª ed. Brasileira da 8ª ed. do SI, de 2012](#). 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**.

Apresentada no material complementar “Sistema internacional de unidades”, no ambiente virtual de aprendizagem.

5.1 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** quanto à concordância de gênero, número e grau. Por exemplo, ao utilizar o prefixo “kilo” com a unidade “grama”, 1 kg é escrito por extenso como “um quilograma”; 2 kg é escrito por extenso como “dois quilogramas” (e não “dois kilos”); é errado falar “é só um kilinho”; etc.

Obs.: No caso particular da unidade de massa, note que o próprio numeral se mantém no masculino, pois “duas quilogramas” refere-se ao vegetal, e não à unidade.

b) **Os nomes de unidades recebem a letra “s” no fim de cada palavra (exceto nos casos da alínea c):**

- Quando são palavras simples (mesmo que decorrentes de homenagens a cientistas), utilizam-se as regras comuns da língua portuguesa. 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 esferorradiano.
- 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.



O SI adota a utilização da letra ‘k’ para a escrita por extenso das palavras ***kilograma*** e ***kilometro***. No entanto, de acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia (2012) ainda é admissível, na língua portuguesa, a utilização da letra ‘q’ para a escrita por extenso dessas duas palavras (***quilograma*** e ***quilômetro***).

5.2 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 justaponham, 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, kΩ.mA, kV/mm, MΩ.cm, kV/ms, μW/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 (sobrescrito) ou índice (subscrito). 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 se não causar 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:

$$W / (\text{sr} \cdot \text{m}^2) \text{ ou } W \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \text{ ou } \frac{W}{(\text{sr} \cdot \text{m}^2)}$$



Esta última forma do exemplo anterior **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:

$$\text{dm}^3 = (\text{dm})^3 = (10^{-1} \cdot \text{m})^3 = (10^{-1})^3 \cdot (\text{m})^3 = (10^{-3})^1 \cdot (\text{m})^3 = 10^{-3} \text{m}^3$$

$$\text{Assim: } \text{dm}^3 = 10^{-3} \text{m}^3$$

$$\text{Seria incorreto fazer: } \text{dm}^3 = 10^{-1} \cdot \text{m}^3$$

$$\text{Analogamente: } \text{mm}^3 = 10^{-9} \text{m}^3$$

5.3 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. Exemplos:

<p>VALOR ABSOLUTO (1,5) MAIOR QUE UM</p> <p>Parte inteira Parte decimal</p> <p>1,5</p> <p>Separado por vírgula</p>	<p>VALOR ABSOLUTO (0,2) MENOR QUE UM</p> <p>0,2</p> <p>Zero à esquerda da vírgula</p>
<p>VALOR ABSOLUTO (1,5) MAIOR QUE UM</p> <p>Parte inteira Parte decimal</p> <p>-1,5</p> <p>Separado por vírgula</p>	<p>VALOR ABSOLUTO (0,2) MENOR QUE UM</p> <p>-0,2</p> <p>Zero à esquerda da vírgula</p>

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. Exemplo:



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	mil = 10^6 = 1.000.000
bilhão = 10^9 = 1.000.000.000	trilhão = 10^{12} = 1.000.000.000

Para trabalhos de carácter técnico ou científico, é recomendado o emprego dos múltiplos e submúltiplos de unidades (tabela 4) ou fatores decimais das tabelas 5 a 11.

5.4 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:

a) **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.

b) **Em colunas de tabelas**, é facultado utilizar espaçamentos diversos entre os números e os símbolos das unidades correspondentes.

5.5 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.

5.6 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.

Com essa explicação, finalizamos a nossa aula. Antes de passar para os próximos assuntos, veja a síntese do que aprendemos.

| Síntese

- 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

BROCHURA DO SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES. **Bureau Internacional de Pesos e Medidas** (em inglês e em francês). 9a ed. – França, 2019. Disponível em: <<https://www.bipm.org/utils/common/pdf/si-brochure/SI-Brochure-9.pdf>>.

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.