

CAPÍTULO 1: MEDIDAS FÍSICAS, GRANDEZAS E UNIDADES

1.1 INTRODUÇÃO

A necessidade de medir é muito antiga e remonta à origem das civilizações. Por longo tempo cada país, cada região, cada cidade teve seu próprio sistema de medidas. Essas unidades de medidas, entretanto, eram geralmente arbitrárias e imprecisas, como por exemplo, aquelas baseadas no corpo humano: palmo, pé, polegada, braça, côvado (antiga medida de comprimento equivalente a 66 cm).

Isso criava muitos problemas para o comércio, porque as pessoas de uma região não estavam familiarizadas com o sistema de medir das outras regiões, e também porque os padrões adotados eram, muitas vezes, subjetivos. As quantidades eram expressas em unidades de medir pouco confiáveis, diferentes umas das outras e que não tinham correspondência entre si.

A necessidade de converter uma medida em outra era tão importante quanto a necessidade de converter uma moeda em outra. Na verdade, em muitos países, inclusive no Brasil dos tempos do Império, a instituição que cuidava da moeda também cuidava do sistema de medidas.

Em 1789, numa tentativa de resolver esse problema, o Governo Republicano Francês pediu à Academia de Ciências da França que criasse um sistema de medidas baseado numa “constante natural”, ou seja, não arbitrária. Assim foi criado o **Sistema Métrico Decimal**, constituído inicialmente de três unidades básicas: o metro, que deu nome ao sistema, o litro e o quilograma (posteriormente, esse sistema seria substituído pelo Sistema Internacional de Unidades - SI).

Dentro do Sistema Métrico Decimal, a unidade de medir a grandeza comprimento foi denominada **metro** e definida como “a décima milionésima parte da quarta parte do meridiano terrestre” (dividiu-se o comprimento do meridiano por 4.000.000). Para materializar o metro, construiu-se uma barra de platina de secção retangular, com 25,3 mm de espessura e com 1 m de comprimento de lado a lado. Essa medida materializada, datada de 1799, por não ser mais utilizada como padrão é conhecida como o “metro do arquivo”.

A unidade de medir a grandeza volume, no Sistema Métrico Decimal, foi chamada de **litro** e definida como “o volume de um decímetro cúbico”. O litro permanece como uma das unidades em uso pelo SI.

Definido para medir a grandeza massa, o **quilograma** passou a ser a “massa de um decímetro cúbico de água na temperatura de maior massa específica, ou seja, a 4,44°C”. Para materializá-lo foi construído um cilindro de platina iridiada, com diâmetro e altura iguais a 39 milímetros.

Muitos outros países adotaram o sistema métrico, inclusive o Brasil, aderindo à Convenção do Metro. Entretanto, apesar das qualidades inegáveis do Sistema Métrico Decimal - simplicidade, coerência e harmonia - não foi possível torná-lo universal. Além disso, o desenvolvimento científico e tecnológico passou a exigir medições cada vez mais precisas e diversificadas. Em 1960, portanto, o Sistema Métrico Decimal foi substituído pelo Sistema Internacional de Unidades - SI, mais complexo e sofisticado.

O **Sistema Internacional de Unidades - SI** foi sancionado em 1960 pela Conferência Geral de Pesos e Medidas e constitui a expressão moderna e atualizada do antigo Sistema Métrico Decimal, ampliado de modo a abranger os diversos tipos de grandezas físicas, compreendendo não somente as medições que ordinariamente interessam ao comércio e à indústria (domínio da metrologia legal), mas estendendo-se completamente a tudo o que diz respeito à ciência da medição.

O Brasil adotou o Sistema Internacional de Unidades - SI em 1962. A Resolução nº 12 de 1988 do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - CONMETRO, ratificou a adoção do SI no País e tornou seu uso obrigatório em todo o território nacional.

1.2 GRANDEZAS E UNIDADES FUNDAMENTAIS DO SI

As grandezas físicas fundamentais ou de base são aquelas a partir das quais todas as outras grandezas físicas são definidas, ou seja, as demais grandezas são combinações das grandezas fundamentais. Na Tabela 1.1 apresentam-se as grandezas fundamentais, seguidas de seus símbolos dimensionais e também de suas unidades no Sistema Internacional de Unidades (SI) com as respectivas abreviações:

O Sistema Internacional de Unidades compreende as unidades fundamentais citadas acima, as unidades derivadas obtidas a partir das sete unidades fundamentais e ainda as unidades suplementares de caráter geométrico: o ângulo plano e o ângulo sólido cujas unidades são respectivamente o radiano, abreviado por rad e o estereorradiano, abreviado por sr. (1 sr é o ângulo sólido para o qual a razão entre a área da calota esférica central interceptada e o quadrado do raio respectivo é igual à unidade). Uma esfera define um ângulo sólido de $4\pi sr$. Exemplos de grandezas derivadas:

- Velocidade: $m s^{-1}$ é a unidade derivada da razão entre as unidades fundamentais metro e segundo.
- Velocidade angular: $rad s^{-1}$ é a unidade derivada da razão entre a unidade fundamental metro e a unidade suplementar radiano.

Capítulo 1: Medidas físicas, grandezas e unidades

Tabela 1.1 - Grandezas fundamentais do Sistema Internacional de Unidades (SI)

| Grandeza | Unidade | Símbolo | Definição |
|---------------------------|------------|---------|---|
| comprimento | metro | m | “... o comprimento do percurso coberto pela luz, no vácuo, em 1/299 792 458 de um segundo”. (1983) |
| massa | quilograma | kg | “... este protótipo (um certo cilindro de liga de platina-irídio) será considerado daqui por diante a unidade de massa”. (1889) Obs: O protótipo foi baseado na massa de água, a 4 °C, contida em um cubo de 10 centímetros de aresta |
| tempo | segundo | s | “... a duração de 9 192 631 770 vibrações da transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133”. (1967) |
| corrente elétrica | ampere | A | “... a corrente constante que, mantida em dois condutores retilíneos, paralelos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível e separados pela distância de 1 metro no vácuo, provoca entre estes condutores uma força igual a $2 \cdot 10^{-7}$ Newton por metro de comprimento”. (1946) |
| temperatura termodinâmica | kelvin | K | “... a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água”. (1967). Obs.: A temperatura relativa na escala Celsius é definida por: $t = T - T_0$, onde $T_0 = 273,15$ K, por definição. |
| quantidade de matéria | mol | mol | “... a quantidade de substância de um sistema que contém tantas entidades elementares quanto são os átomos em 0,012 quilogramas de carbono 12”. (1971) |
| intensidade luminosa | candela | cd | “... a intensidade luminosa, na direção perpendicular, de uma superfície de 1/600 000 metros quadrados, de um corpo negro na temperatura de solidificação da platina, sob a pressão de 101,325 Newton por metro quadrado”. (1967) Obs: a temperatura de solidificação da platina, sob a referida pressão é 2043 K. |

Adaptado do “The International System of Unit (SI)”, National Bureau of Standards Special Publication 330, edição de 1972.

LCE0200 Física do Ambiente Agrícola

Tabela 1.2 - Grandezas derivadas do Sistema Internacional de Unidades (SI)

| Grandeza | Definição | Unidade SI | Unidades alternativas |
|------------|--------------------|----------------------------|------------------------|
| Área | | m^2 | ha, |
| Volume | | m^3 | L, cc |
| Velocidade | Distância/tempo | $m s^{-1}$ | $km h^{-1}$, nó |
| Aceleração | Velocidade/tempo | $m s^{-2}$ | |
| Força | Massa x aceleração | N (Newton) = $kg m s^{-2}$ | dina |
| Pressão | Força/área | Pa (Pascal) = $N m^{-2}$ | atm, bar, cmHg |
| Energia | Força x distância | J (Joule) = N m | cal, erg, kWh, BTU, eV |
| Potência | Energia/tempo | W (Watt) = $J s^{-1}$ | Cv |

Tabela 1.3 - Prefixos do SI

| Fator | Prefixo | Símbolo | Fator | Prefixo | Símbolo |
|-----------|---------|---------|------------|---------|---------|
| 10^1 | deca | da | 10^{-1} | deci | d |
| 10^2 | hecto | h | 10^{-2} | centi | c |
| 10^3 | quilo | 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} | ato | a |

1.3 TRANSFORMAÇÃO DE UNIDADES – REGRA DA CADEIA

A transformação de unidades segue regras algébricas simples e pode ser realizada sistematicamente pela “regra da cadeia”. Vejamos a seguir alguns exemplos de transformações por esse método:

Exemplo 1: A quantos $km h^{-1}$ equivalem $30 m s^{-1}$?

Como $1000 m = 1 km$, temos que $1 km / 1000 m = 1$; Da mesma forma, $1 h = 3600 s$ e, portanto, $3600 s / 1 h = 1$. Assim,

$$30 \frac{m}{s} = 30 \frac{m}{s} \cdot \frac{1 km}{1000 m} \cdot \frac{3600 s}{1 h} = \frac{30 \cdot 3600 km}{1000 h} = 108 \frac{km}{h}$$

Exemplo 2: Expressar a aceleração gravitacional ($g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$) na unidade km h^{-2}

Novamente utilizaremos $1 \text{ km} / 1000 \text{ m} = 1$ e $3600 \text{ s} / 1 \text{ h} = 1$. Assim,

$$9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right)^2 = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \cdot \frac{3600^2 \text{ s}^2}{1^2 \text{ h}^2} = \frac{9,81 \cdot 3600^2 \text{ km}}{1000 \text{ h}^2} = 1,27 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{h}^2}$$

Exemplo 3: Quantos litros existem em um metro cúbico?

Um litro é definido como um decímetro cúbico. Como $1 \text{ m} = 10 \text{ dm}$, temos que $10 \text{ dm} / 1 \text{ m} = 1$. Portanto:

$$1 \text{ m}^3 = 1 \text{ m}^3 \left(\frac{10 \text{ dm}}{1 \text{ m}} \right)^3 = 1 \text{ m}^3 \cdot \frac{10^3 \text{ dm}^3}{1^3 \text{ m}^3} = 1000 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ L}$$

EXERCÍCIOS

- 1.1 O micrômetro ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$) é comumente chamado de *mícron*.
 a) Quantos microns existem em 1 km? **R: $1 \cdot 10^9 \mu\text{m}$**
 b) Que fração do cm é igual a $1 \mu\text{m}$? **R: $0,0001 \text{ cm}$**
- 1.2 Um nó é definido como uma milha náutica por hora. Uma milha náutica equivale à distância de 1 minuto de latitude. O perímetro da Terra é 40.000 km.
 a) A quantos metros equivale uma milha náutica? **R: $1851,8 \text{ m}$**
 b) Um navio anda na velocidade de 20 nós. Qual sua velocidade em m/s? **R: $10,3 \text{ m/s}$**
- 1.3 Uma unidade astronômica (UA) é a distância média da Terra ao Sol, aproximadamente igual a 150.000.000 km. A velocidade da luz vale cerca de $3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Escreva esta velocidade em termos de unidades astronômicas por minuto. **R: $0,12 \text{ UA/min}$**
- 1.4 Uma unidade de área freqüentemente utilizada para expressar áreas de terra é o *hectare*, definido como 10^4 m^2 . Uma mina de carvão a céu aberto consome 75 hectares de terra, a uma profundidade de 26 m por ano. Calcule o volume de terra retirada neste tempo em km^3 . **R: $0,0195 \text{ km}^3$**
- 1.5 Rendimento agrícola norte-americano é expresso freqüentemente em bushels/acre. A quantas toneladas por hectare equivale um rendimento de soja de 40 bushels/acre? (1 acre = 4047 m^2 ; 1 bushel soja = 0,0272 ton). **R: $2,69 \text{ ton/ha}$**

- 1.6 A densidade da água é igual a 1 g cm^{-3} . Qual é a densidade da água expressa na unidade:
 a) kg/L **R: 1 kg/L**
 b) kg m^{-3} **R: 1000 kg/m^3**
 c) libras por pé cúbico ($1 \text{ lb} = 0,454 \text{ kg}$; $1 \text{ pé} = 30,48 \text{ cm}$) **R: $62,35 \text{ lb ft}^{-3}$**
- 1.7 Uma estação meteorológica observou em determinado dia uma chuva de 18 mm. Quantos litros de água precipitaram durante esta chuva em cada hectare? **R: 180 000 L/ha**
- 1.8 Um cavalo-vapor (cv) equivale a 735,5 W. Qual é o consumo de energia de uma máquina de 5 cv que funciona durante 10 horas, em Joule e em eV? ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$) **R: $132.390.000 \text{ J}$ ou $8,2631 \cdot 10^{26} \text{ eV}$**
- 1.9 Um suíno, na fase de creche, ganha 30 gramas por dia.
 a) Qual é o ganho de massa por unidade de tempo, em miligramas por segundo? **R: $0,3472 \text{ mg/s}$**
 b) Qual é o ganho de peso por unidade de tempo, em Newton por hora? **R: $0,0122 \text{ N/h}$**
- 1.10 A quantidade média de radiação solar que chega na superfície da Terra está em torno de $1 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$. Expressar essa quantidade em unidades do Sistema Internacional, sabendo que 1 caloria equivale a 4,18 J. **R: $696,7 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$**
- 1.11 Transforme as grandezas abaixo para as respectivas unidades:
 a) $9810 \text{ dinas} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf}$ **R: $0,01 \text{ kgf}$**
 b) $7814 \text{ N} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf}$ **R: $796,53 \text{ kgf}$**
 c) $200 \text{ cm s}^{-2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ms}^{-2}$ **R: 2 m s^{-2}**
 d) $80 \text{ km h}^{-1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m s}^{-1}$ **R: $22,22 \text{ m s}^{-2}$**
 e) $3.000 \text{ L h}^{-1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ **R: $8,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$**
 f) $7.500 \text{ N m}^{-2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf m}^{-2}$ **R: $764,52 \text{ kgf m}^{-2}$**
 g) $7 \text{ kgf cm}^{-2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf m}^{-2}$ **R: $70.000 \text{ kgf m}^{-2}$**
 h) $820 \text{ N m}^{-3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf m}^{-3}$ **R: $83,59 \text{ kgf m}^{-3}$**
 i) $8.000.000 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ **R: $800 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$**
 j) $9.700 \text{ din cm}^{-3} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kgf m}^{-3}$ **R: $9887,87 \text{ kgf m}^{-3}$**