



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
Departamento de Engenharia de Biosistemas



Disciplina: Física do Ambiente Agrícola

Prof. Jarbas Honorio de Miranda

SISTEMAS DE UNIDADES

Na Engenharia pode-se dizer que sempre estamos medindo algo, comprimento, temperatura, pressão, umidade, área, etc. Mas o que é medir?

Medir nada mais é do que fazer uma comparação. Quando meço o comprimento de um duto, por exemplo, 5 metros, na verdade estou comparando o comprimento daquele duto com um padrão de comprimento chamado Metro, então o meu duto é 5 vezes maior que o comprimento de algo chamado metro.

I) Comprimento

Uma das primeiras tentativas feitas para estabelecer um sistema mais racional de medidas e que deveria ser universal, surgiu em meados do século XVII, quando o padre Gabriel Mouton, vigário da Igreja de São Paulo, de Lyon, França, sugeriu a adoção como unidade de comprimento o arco de um meridiano terrestre compreendido pelo ângulo de 1' (um minuto) cujo vértice se situa no centro da terra. Este comprimento seria de aproximadamente 1851,8 m. As suas subdivisões deveriam ser em escala decimal. A sugestão de Mouton não foi adotada na época. Outra proposta semelhante foi consagrada 150 anos mais tarde, quando, em 1790, em plena Revolução Francesa, a Academia de Ciências de Paris, composta pelos maiores cientistas da época, foi encarregada de estabelecer um sistema de medidas unificado. Nasceu assim o sistema que deveria ser adotado por todos.

A unidade de medida de comprimento, de acordo com os cientistas da Academia de Ciências de Paris, não precisa ter como referência medidas humanas como as unidades precedentes (braço, pé, passo, etc.). Deve, ao contrário, referir-se a algum comprimento fixo e invariável da natureza. O que teríamos melhor do que o planeta em que vivemos?

É certo de que a Terra é um pouco grande para que a sua medida sirva como unidade, porém pode-se tomar um comprimento característico do globo, por exemplo, à distância entre o pólo e o equador e dividi-lo por um número suficientemente grande para se obter o comprimento fixo, a unidade de medida procurada. Por este caminho se chegou ao metro, definido, a princípio, como a décima milionésima parte da distância do pólo norte ao equador no meridiano que passa por Paris.

Por volta de 1800 o metro passou a ser definido como o comprimento entre dois traços gravados nas extremidades de uma barra de Platina com Irídio depositada no Instituto Internacional de Pesos e Medidas em Paris, França.

Atualmente, a definição do metro data de 1960, baseada no comprimento de onda luminosa emitida por uma fonte considerada padrão, o Criptônio 86.

O sistema métrico trouxe algo de muito bom com relação aos múltiplos e submúltiplos: uma escala decimal de grandezas:

Milímetro	(mm).....0,001 m	Decâmetro	(dam).....10 m
Centímetro	(cm).....0,01 m	Hectômetro	(hm).....100 m
Decímetro	(dm).....0,1 m	Quilômetro	(km).....1000 m
Metro	(m).....1 m		

Repare como o sistema métrico decimal é mais racional que o sistema anglo-saxão (inglês) de medidas de comprimento:

- 1 polegada (25,4 cm) deve ser igual ao comprimento de três grãos de cevada alinhados;
- 1 jarda (0,914 m) deve representar a distância entre a ponta do nariz e o polegar, com o braço estendido, do rei Henrique I, Século XII;
- 1 pé igual a 12 polegadas (0,305 m).

II) Massa

Se medir é comparar então, quando medimos a massa de um determinado objeto utilizando uma balança de dois pratos, como mostrado na figura 1, fica evidente que medir é comparar; comparar o peso do objeto com o peso de um corpo tomado como padrão. Mas, por acaso não estamos querendo medir a massa de um objeto? Como estamos comparando pesos? Na verdade, neste tipo de balança comparamos pesos: *peso do objeto = peso padrão*. Como o peso é igual ao produto da massa pela aceleração da gravidade no local (g), podemos escrever:



FIG. 1- Balança de pratos

Assim comparamos as duas massas. A vantagem deste tipo de balança está no fato de que a medida é a mesma em qualquer ponto da Terra, no litoral ou no topo do Everest, onde a aceleração da gravidade da Terra é menor. Por outro lado, as balanças que medem diretamente o peso, por meio da distensão de uma mola, ou outro dispositivo eletrônico, não apresentam a mesma medida em pontos diferentes da Terra.

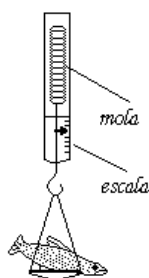


FIG.2 – Balança de mola

As balanças analíticas de laboratório, apesar de parecerem eletrônicas, comparam o peso de um dado objeto com pesos padrões que estão embutidos dentro da balança.

Mas qual é a massa ou o peso padrão com o qual podemos fazer comparações? Podemos eleger qualquer coisa como um padrão de peso, por exemplo: 700 grãos de trigo que por ordem do rei Henrique VIII no século XVI, na Inglaterra, seria o peso padrão ou a libra. Mas era uma unidade muito grande para ser utilizada na pesagem de ouro ou prata, por isso ele dividiu a libra em 16 partes dando o nome de onça! Ainda hoje a onça é utilizada para o ouro.

Os franceses, na mesma época que definiram o metro, 1790, teriam elegido como o padrão de massa o grama como a massa de 1 cm³ de água destilada à 4°C. Apenas para construção de padrão representativo da unidade ter-se-ia adotado, por convenção, a massa de 1000 g; o quilograma. Estabeleceram também que os submúltiplos deste padrão de massa deveria obedecer a uma escala decimal, assim:

grama (g)	decagrama (dag)	hectograma (hg)	quilograma (kg)
0,001 kg	0,01 kg	0,1 kg	1 kg

III) Tempo

Na idade média usava-se a ampulheta como medida de tempo, obviamente cada uma tinha a sua própria medida, seguramente a contagem do tempo era bem caótica. O mesmo raciocínio foi feito para a medida padrão de tempo, começou-se dividindo o dia em 24 partes iguais, a hora. Verificou-se que a hora era uma medida muito grande para boa parte dos eventos corriqueiros por isso, dividiu-se a hora em uma outra unidade de tempo 60 vezes menor, chamada de mínima, o nosso minuto. Novamente, foi necessário se estabelecer uma “segunda” e menor unidade de tempo dividiu-se o minuto em sessenta partes à qual se deu o nome de segundo, devido justamente ser uma segunda subdivisão de tempo. Foi este segundo escolhido como unidade padrão de tempo e definido como sendo a fração 1/86400 do dia solar médio. Mas como a duração do dia tem variação ao longo dos anos (o dia tem aumentado a sua duração de 0,5 s por ano!) em 1967 se estabeleceu uma definição mais rigorosa para o segundo: “É a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição de um elétron entre os dois níveis do estado fundamental do átomo de Césio 133”. Os relógios

atômicos podem medir o tempo com muita precisão fornecendo o padrão de comparação de tempo segundo muito confiável.

IV) Sistema Métrico Decimal

Reunindo-se os padrões de comparação para medidas de comprimento, metro; massa, quilograma; tempo, segundo e mais uma unidade de volume, o litro, igual a 1000 cm^3 , e utilizando múltiplos e submúltiplos desses padrões em escala decimal tem-se o chamado Sistema Métrico Decimal. Note que o sistema métrico decimal tem de permeio uma unidade de volume, o litro, que poderia muito bem ser substituído por cm^3 ou m^3 . Mas o sistema métrico decimal não é um sistema próprio da engenharia ou ciência, mas algo voltado mais para as transações comerciais e hoje em dia ele é utilizado quase que universalmente, apesar da resistência de Ingleses e Americanos.

V) Grandezas Fundamentais e Derivadas

A existência do litro chama a atenção para o fato de que poder-se-ia racionalizar mais o sistema de medidas que seria mais apropriado para a engenharia e para a ciência. A todo rigor não seria necessário definir o litro como uma unidade padrão porque ele pode ser colocado como uma unidade derivada do metro ($=0,001 \text{ m}^3$). Se o metro é tomado como uma unidade fundamental, a unidade de área (m^2) é uma unidade derivada assim como a de volume (m^3). Se o metro e o segundo são tomados como unidades fundamentais, a velocidade (m/s) e a aceleração (m/s^2) são derivadas. A idéia é estabelecer o menor número de unidades, ditas fundamentais, a partir das quais qualquer outra unidade pode ser obtida através de relações algébricas. A escolha é arbitrária, mas o bom senso estabeleceu algumas como fundamentais. Para a mecânica, qualquer grandeza pode ter a sua unidade dada pela combinação da unidade de comprimento, massa e tempo. Então escolhendo o metro, o quilograma e o segundo tem-se:

- Velocidade (m/s);
- Aceleração (m/s^2);
- Força (kg.m/s^2);
- Energia ($\text{kg.m}^2/\text{s}^2$);
- Quantidade de movimento (kg.m/s);
- Pressão ($\text{kg}/(\text{s}^2.\text{m})$).

Este sistema foi consagrado na mecânica e recebe o nome de “SISTEMA MKS” (metro, quilograma, segundo). Neste sistema algumas unidades derivadas recebem nomes especiais: Para a força, Newton (n), para a pressão, Pascal (Pa) e para a energia, Joule (J).

Entretanto a coisa não é tão simples assim. Foi muito usado e ainda se encontra, principalmente na engenharia, unidades de um sistema no qual em vez da massa ser uma grandeza fundamental, a força é escolhida como fundamental. Este sistema é o MKS técnico ou MKS*. Neste sistema a grandeza fundamental é

o quilograma-força (kgf). Então no MKS* tem-se metro, quilograma-força e segundo.

Para entender o quilograma-força imagine que um corpo sofra a ação de uma força igual a 1 kgf e adquira a aceleração de 1 m/s^2 , então, a sua massa é igual a 1 unidade neste sistema:

$$\underline{1 \text{ kgf} = 1 (\text{unidade de massa}) \times 1 \text{ m/s}^2}$$

Assim a unidade de massa deste sistema foi batizada como **Unidade Técnica de Massa - utm**.

Compare com o MKS, neste sistema a força é uma unidade derivada então o Newton é definido como a força que atua em uma massa de 1kg quando este adquire uma aceleração de 1 m/s^2

$$\underline{1(\text{unidade de força, ou seja, Newton}) = 1\text{kg} \times 1\text{m/s}^2}$$

O esquema da FIG. 3 pode ajudar a entender o Newton e o utm:

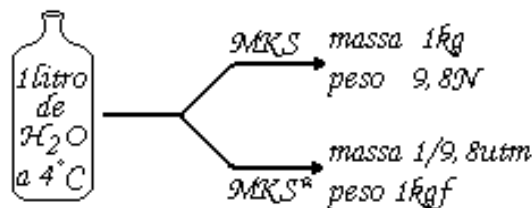


FIG. 3 utm e kg

A massa de 1kg no MKS pesa 9,8N, mas no MKS* pesa 1kgf porque:

- No MKS: o peso de 1kg = $1\text{kg} \times 9,8\text{m/s}^2 = 9,8\text{N}$
- No MKS*: o peso de 1kgf = $m \times 9,8 \text{ m/s}^2 \quad m = 1/9,8\text{utm}$.

VI) Sistema CGS

Ao lado do sistema de unidades MKS e MKS* ainda se usa o sistema CGS onde as unidades fundamentais são o centímetro, o grama e o segundo. É um sistema inercial onde a força, uma unidade derivada e definida como:

$$\underline{1\text{unidade de força no CGS} = 1\text{g} \times 1\text{cm/s}^2}$$

Essa unidade de força é chamada de “dina”

- $1\text{kg} = 1000\text{g} \quad 1\text{m/s}^2 = 100\text{cm/s}^2$ então $1\text{N} = 1000\text{g} \times 100\text{cm/s}^2 = 100000 \text{ g.cm/s}^2 = 10^5 \text{ dina}$
- $1 \text{ N} = 10^5 \text{ dina}$.

UNIDADES DE ENERGIA

Em todos os sistemas vistos anteriormente a energia é uma grandeza derivada, partindo da definição de trabalho, que é energia, força x deslocamento pode-se escrever:

Sistema CGS ----- dina.cm = erg

Sistema MKS ----- N.m = Joule

Sistema MKS* ----- kgf.m = quilogramagrâmetro

Um erg é mais ou menos a energia que você gasta para dar uma piscada. A caloria é uma unidade de energia definida como a quantidade de energia necessária para elevar 1°C, 1 g de água. Por ser 1 g é designada como “caloria-grama”. A caloria-grama equivale sempre, a uma quantidade de energia mecânica de 4,186J, o equivalente mecânico do calor.

Só que os Ingleses não ficaram atrás, também têm a sua unidade de energia: o BTU (british thermal unit) e equivale a 252 calorias-grama, note que esta unidade é muito usada em em sistemas de ar condicionado, câmaras frias e de refrigeração.

l) Temperatura

A temperatura é uma grandeza cuja unidade não pode ser obtida por relações algébricas a partir do comprimento, massa e tempo. É desconhecida a origem de termômetro, mas de qualquer forma, em meados de 1600, o termômetro já era amplamente conhecido na Europa. E cada fabricante tinha a sua própria escala de medida. Era comum termômetros terem no meio uma marca “l” para mostrar a situação de temperatura confortável, acima desta marca havia 8 graus de calor e abaixo, oito graus de frio e cada grau por sua vez era subdividido em 60 minutos. Como toda medida teve um começo caótico, porém, Isaac Newton já intuiu que deveria acontecer uma racionalização propondo uma escala de temperatura na qual o ponto de congelamento da água fosse tomado como zero e a temperatura do corpo humano como 12°.

O desenvolvimento de um termômetro com uma escala padronizada começou com Daniel Gabriel Fahrenheit. Inicialmente Fahrenheit adotou como temperaturas de referência 32° para a temperatura de congelamento da água e passou a usar a temperatura de ebulição da água como sendo 212°. Nesta escala a água do mar congela a 100° e o corpo humano passa a ter uma temperatura de 100°. Como o termômetro de Fahrenheit vendeu bem, sua escala tornou-se largamente aceita.

Já na França a escala de Fahrenheit não foi aceita inicialmente. Lá, Réaumur; construiu um termômetro apropriado para os fabricantes de vinho. Sua escala ia de 0° para o gelo fundente e 80° para a água em ebulição. Semelhante foi o caso do sueco Anders Celsius que propôs uma escala dividida em 100 divisões (centígrados) adotando uma escala em que a água congele a 100° e entre em ebulição a 0°. Por coincidência, Lineu, amigo de Anders, que era canhoto, utilizou o termômetro de Anders de cabeça para baixo, assinalando 0° para o congelamento da água e 100° para a ebulição e, então, sem perceber o erro recomendou o uso desta escala.

Mais tarde William Thomson, posteriormente lorde Kelvin, imaginou uma escala de temperaturas baseado no conceito da máquina de calor ideal reversível de Sadi Carnot.

Esta escala de temperatura, que fornece a unidade de temperatura termodinâmica, o “kelvin” teve a sua definição estabelecida quando se fixou convencionalmente a temperatura do ponto tríplice da água igual a 273,16 graus kelvin. Note que a escala proposta por Kelvin é uma escala absoluta, esta unidade não leva o símbolo de graus como as outras unidades, assim escreve-se 273,16K e não 273,16°K. Além disso a variação de 1K é igual à variação de temperatura de 1°C. Assim a conversão de graus Kelvin (K) para graus Celsius (°C) obedece a relação:

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$$

Repare que não é 273,16 e sim 273,15, estabelecida por definição. Assim o zero absoluto se dá a $-273,15^{\circ}\text{C}$.

A seguir são dadas as relações de conversões entre as diferentes unidades de temperatura:

- Para transformar kelvin para celsius $\text{K} = ^{\circ}\text{C} - 273,15$
- Para transformar celsius para kelvin $^{\circ}\text{C} = \text{K} + 273,15$
- Para transformar celsius para fahrenheit $\text{F} = 1,8 \cdot ^{\circ}\text{C} + 32$
- Para transformar fahrenheit para celsius $^{\circ}\text{C} = (\text{F} - 32) / 1,8$

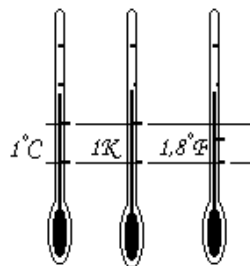


FIG. 5 – Variação de temperatura

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)

Juntando as unidades: metro, quilograma, segundo, graus kelvin, mol, ampère e a candela, podem-se compor qualquer outra unidade de grandeza da física. Este grupo, que está sendo aceito universalmente é chamado de Sistema de Unidades Internacionais ou SI. Devemos procurar sempre usar a unidade de qualquer grandeza neste sistema. A Figura 6 mostra através de um diagrama a interrelação entre os diferente sistemas de unidades:



FIG. 6 – inter-relação entre diferentes sistemas

I) POTÊNCIA

O conceito físico de potência é energia por tempo. No SI potência é joule/segundo (J/s). Porém há unidades como cavalo vapor (cv ou hp – horsepower em inglês) é uma unidade de potência muito usada quando se trata de motores. Esta unidade foi introduzida por James Watt. Depois de muitas experiências Watt estabeleceu que, em condições normais, um cavalo poderia trabalhar sem chegar à exaustão, com a potência necessária para levantar um peso de 330lb (libras) (150kg) a uma altura de 100 pés (cerca de 30m) em 1 minuto: feito os cálculos de conversão esta medida equivale a 0,75 quilograma watt ou, usualmente empregado quilowatt (kW).

E por falar em quilowatt, o que é o quilowatt-hora? O quilowatt – hora não é potência é energia. Unidade muito usada na comercialização de energia elétrica. Assim é o trabalho executado por um sistema que fornece 1 quilowatt de potência durante uma hora, o que equivale a 1000 watts x 1 hora ou 1000 J/s x 3600 segundos que dá 3 600 000 J.

Ex: Um chuveiro normalmente tem uma potência de 6 kw (seis quilowatt), você gasta 20 minutos (1/3 de hora) para tomar um banho e admitindo que o quilowatt – hora custe R\$ 0,30 então você vai pagar:
 $6 \times 1/3 \times 0,30 = \text{R\$ } 0,60$ (sessenta centavos)

II) PRESSÃO

Definida como força por área, no sistema internacional a pressão é dada por newton/metro² que recebe o nome de Pascal (Pa), entretanto é muito usada a unidade atmosfera (atm), que é a pressão atmosférica ao nível do mar. Todo mundo sabe que 1atm corresponde a pressão exercida por uma coluna de 760 mm de Mercúrio à 0°C, assim pode-se estabelecer uma relação entre o Pa e a atm. Lembrando também que a pressão é dada pela relação:

$$P = h \cdot \rho \cdot g$$

Onde: P é a pressão de uma coluna de líquido com uma altura h, com densidade ρ e g a aceleração da gravidade da Terra. Aplicando-se para o Mercúrio tem-se: densidade à 0°C = 13595,1Kg/m³, aceleração da gravidade da Terra ao nível do mar 9,80665ms², então:

- $P = 0,76m \times 13595,1 \text{ Kg/m}^3 \times 9,80665\text{m/s}^2$
- $P = 101325 \text{ kg.m/s}^2 \times 1/\text{m}^2$

- $P = 101325 \text{ N/m}^2$

Portanto 1 atm equivale no Sistema Internacional a 101325Pa.

Para irrigação usa-se a unidade metros de coluna de água (mca) para pressões em tubulações onde escoar ar.

$$10,33 \text{ mca} \text{ ----- } 101325 \text{ N/m}^2$$

$$0,01 \text{ mca} \text{ ----- } X \text{ N/m}^2$$

$$X = 1 \text{ mca} (0,01 \text{ mca}) = 98,088 \text{ N/m}^2$$

Outra unidade de pressão que é usada em irrigação é a bária (bar). A bária é definida como dina/cm². A milésima parte do bária, milibar, era uma unidade de pressão muito usada na meteorologia, hoje ela perde terreno para o hectopascal (hpa = 100Pa). As relações de conversão são: 1bar = 1*10⁵N/m² e 1atm = 1033mbar.

Uma unidade de pressão, muito usada e que mistura sistemas de unidades diferentes é o kgf/cm², muito usado em engenharia e equivale a 98066,5N/m².

Dessa forma, constata-se que 1,033 Kgf/cm² equivale a 1atm, portanto 10mca exercem uma pressão igual a 1kgf/cm², por isso esta unidade é muito conveniente. É muito mais fácil visualizar uma coluna de água com 1m de altura como pressão do que 9808,8 N/m².

CONVERSÃO DE UNIDADES

As tabelas a seguir convertem qualquer unidade para o sistema SI apenas multiplicando a unidade da grandeza em uma outra unidade pelo fator dado.

COMPRIMENTO

Unidade	SI	Multiplicar por	Unidade	SI	Multiplicar por
n(nano)	.m	10 ⁻⁹	.g	kg	0,001
μ(micro)	.m	10 ⁻⁶	Ton	kg	1000
dm	.m	0,1	lb _m	kg	0,45359237
cm	.m	0,01	oz (onça)	kg	28,35.10 ⁻³
mm	.m	0,001	Grão	kg	6,48.10 ⁻⁶
Km	.m	1000	Tonelada (ingl)	kg	1016
Ft	.m	0,3048	Utm	kg	9,80665
yd (jarda)	.m	0,9144	Arroba	kg	15

MASSA**ÁREA**

Unidade	SI	Multiplicar por	Unidade	SI	Multiplicar por
Are	.m ²	4,047.10 ³	barril (petróleo)	m ³	0,159
Acre	.m ²	100	cm ³	m ³	10 ⁻⁶
Alqueire	.m ²	xxx	gal (galão americano)	m ³	3,785.10 ⁻³
Hectare	.m ²	10000	gal (galão imperial)	m ³	4,545963.10 ⁻³
km ²	.m ²	10 ⁶	litro (L)	m ³	10 ⁻³
Pé ² (ft ²)	.m ²	0,06451	Pé cúbico (ft ³)	m ³	0,028317
Polegada quadrada (in ²)	.m ²	9,290304	Polegada cúbica (in ³)	m ³	0,00001639

VOLUME**FORÇA**

Unidade	SI	Multiplicar por	Unidade	SI	Multiplicar por
Dina	N	10 ⁻⁵	L/h	m ³ /s	2,778.10 ⁻⁷
Kgf	N	9,8	ft ³ /h	m ³ /s	2,16.10 ⁻⁶
libra força (lbf)	N	4,45	gal/min (gpm)	m ³ /s	6,308.10 ⁻⁵
Poundals	N	0,13825			

VAZÃO**VISCOSIDADE**

Unidade	SI	Multiplicar por	Unidade	SI	Multiplicar por
Centipoise (cp)	kg/(m.s)	10 ⁻³	Cal/(cm ² .s.°C/cm)	W/(m ² .K/m)	418
Poise (P)	kg/(m.s)	0,1	BTU/(ft ² .h.°F/ft)	W/(m ² .K/m)	1,73073
lb _m /(ft.h)	kg/(m.s)	2,1491	Kcal/(m ² .h.°C/m)	W/(m ² .K/m)	1,5048.10 ⁵
Lb _m /(ft.s)	kg/(m.s)	6,7197.10 ⁻⁴			
Kg/(h.m)	kg/(m.s)	0,0036			

CONDUTIVIDADE TÉRMICA**PRESSÃO**

Unidade	SI	Multiplicar por	Unidade	SI	Multiplicar por
atmosfera (atm)	Pa	1,01325.10 ⁵	g/l	.kg/m ³	1
Bar	Pa	10 ⁵	.kg/l	.kg/m ³	1000
Barie	Pa	0,1	.g/cm ³	.kg/m ³	1000
mm Hg	Pa	133,322	.lb _m /ft ³	.kg/m ³	16,018
mca	Pa	9,80665	.lb _m /in ³	.kg/m ³	2,768.10 ⁴
Milibar	Pa	10 ²			

DENSIDADE