OBJETIVO

ITA
Física
Livro do Professor

1

MÓDULO 1

Análise Dimensional

1. GRANDEZAS FUNDAMENTAIS E GRANDEZAS DERIVADAS

Na Física existe um pequeno grupo de grandezas que são consideradas independentes e adotadas como grandezas físicas fundamentais. As demais grandezas físicas são chamadas de grandezas derivadas e são dependentes dessas grandezas, ditas fundamentais.

As grandezas físicas fundamentais são sete, listadas a seguir.

Grandeza	Símbolo (dimensional)
comprimento	**L**
massa	**M**
tempo	**T**
intensidade de corrente elétrica	**I**
temperatura termodinâmica	**θ**
intensidade luminosa	$\mathbf{I_0}$
quantidade de matéria	**N**

2. EQUAÇÕES DIMENSIONAIS

É usual, na Mecânica, escolhermos como grandezas fundamentais a massa (M), o comprimento (L) e o tempo (T).

Qualquer outra grandeza (G) da Mecânica pode ser escrita em função de M, L e T, elevados a expoentes adequados.

A expressão de G em função de M, L e T é chamada de equação dimensional de G e os expoentes respectivos são as dimensões de G em relação a M, L e T.

$$[\,G\,] = M^x L^y T^z$$

x = dimensão de G em relação à massa M.

y = dimensão de G em relação ao comprimento L.

z = dimensão de G em relação ao tempo T.

Exemplos

a) Velocidade

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow [\,V\,] = \frac{L}{T} = LT^{-1} = M^0LT^{-1}$$

A **velocidade** tem dimensões 0, 1 e –1 em relação a massa, comprimento e tempo.

b) Aceleração

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \Rightarrow [a] = \frac{LT^{-1}}{T} = LT^{-2} = M^0LT^{-2}$$

A **aceleração** tem dimensões 0, 1 e –2 em relação a massa, comprimento e tempo.

c) Força

$$F = ma \Rightarrow [\,F\,] = MLT^{-2}$$

A força tem dimensões 1, 1 e –2 em relação a massa, comprimento e tempo.

d) Energia

$$E = \frac{mV^2}{2} \Rightarrow E = M(LT^{-1})^2 = ML^2T^{-2}$$

A **energia** tem dimensões 1, 2 e –2 em relação a massa, comprimento e tempo.

3. HOMOGENEIDADE DAS EQUAÇÕES FÍSICAS

Para que uma equação física possa ser verdadeira, é necessário que os dois membros da equação tenham as mesmas dimensões. Em particular, se um dos membros for constituído por uma soma de parcelas, todas as parcelas devem ter as mesmas dimensões.

$$Y = X \Rightarrow [\,Y\,] = [\,X\,]$$

$$Y = X + Z + W \Rightarrow [Y] = [X] = [Z] = [W]$$

4. PREVISÃO DE FÓRMULAS

A partir de experiências, um cientista pode prever de quais grandezas físicas (A, B, C) deve depender uma certa grandeza G.

Por meio de uma análise dimensional, é possível ao cientista determinar os expoentes x, y e z com que as grandezas A, B e C figuram na expressão de G.

$$G = kA^xB^yC^z \quad \boxed{\text{análise dimensional}}$$

Assim, obtemos **x**, **y** e **z**.

k é uma constante numérica (adimensional) que não pode ser obtida pela análise dimensional.

Exemplo

No estudo da queda livre, o cientista prevê que o tempo de queda deve depender da massa do corpo (m), do módulo da aceleração da gravidade (g) e da altura de queda (H).

Isto posto, o cientista escreve a equação

$$t_q = km^xg^yH^z$$

Impondo que os dois membros tenham a mesma equação dimensional, podemos determinar os valores de x, y e z:

$[\ t_q\ ] = [\ m\ ]^x\ [\ g\ ]^y\ [\ H\ ]^z$

$M^0L^0T = M^x\ (LT^{-2})^y\ \ L^z$

$M^0L^0T = M^x\ \ L^{y\ +\ z}\ \ T^{-2y}$

Identificando as dimensões:

$$\left.\begin{array}{l} x = 0 \\ y + z = 0 \\ -2y = 1 \end{array}\right\} \Rightarrow \begin{array}{l} \boxed{x = 0} \\ \boxed{y = -\dfrac{1}{2}} \\ \boxed{z = \dfrac{1}{2}} \end{array}$$

O fato de x = 0 indica que o tempo de queda não depende da massa, corrigindo a hipótese inicial do cientista, que estava errada. (Veja a força da análise dimensional.)

A equação assume o aspecto

$$t_q = k\ g^{(-1/2)}\ H^{(1/2)}$$

ou

$$\boxed{t_q = k\sqrt{\frac{H}{g}}}$$

Apenas o valor de **k** não pode ser obtido por análise dimensional e sim por um ensaio experimental ou de alguma teoria física.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. **(ITA-2001)** – Uma certa grandeza física A é definida como o produto da variação de energia de uma partícula pelo intervalo de tempo em que esta variação ocorre. Outra grandeza, B, é o produto da quantidade de movimento da partícula pela distância percorrida. A combinação que resulta em uma grandeza adimensional é

a) AB b) A/B c) A/B^2 d) A^2/B e) A^2B

RESOLUÇÃO:
Do enunciado, temos:

$A = \Delta E\ .\ \Delta t$

$B = Q\ .\ d$

Assim:

$[A] = ML^2\ T^{-2}\ .\ T$

$[A] = ML^2T^{-1}$

$[B] = ML\ T^{-1}\ .\ L$

$[B] = ML^2\ T^{-1}$

Como [A] = [B], podemos concluir que A/B é adimensional.

Resposta: B

2. **(ITA-2009)** – Sabe-se que o momento angular de uma massa pontual é dado pelo produto vetorial do vetor posição dessa massa pelo seu momento linear. Então, em termos das dimensões de comprimento (L), de massa (M), e de tempo (T), um momento angular qualquer tem sua dimensão dada por

a) L^0MT^{-1}. b) LM^0T^{-1}. c) LMT^{-1}.
d) L^2MT^{-1}. e) L^2MT^{-2}.

RESOLUÇÃO:

$Q_{ANGULAR} = Q_{LINEAR}\ .\ d$

$[Q_{ANGULAR}] = [Q_{LINEAR}]\ .\ [d]$

$[Q_{ANGULAR}] = MLT^{-1}\ .\ L$

$$\boxed{[Q_{ANGULAR}] = L^2\ M\ T^{-1}}$$

Resposta: D

3. **(ITA-99)** – Os valores de **x**, **y** e **z** para que a equação: $(\text{força})^x\ (\text{massa})^y = (\text{volume})\ (\text{energia})^z$ seja dimensionalmente correta, são, respectivamente:

a) (–3, 0, 3) b) (–3, 0, –3) c) (3, –1, –3)
d) (1, 2, –1) e) (1, 0, 1)

RESOLUÇÃO:

$F^x\, m^y = Vol \cdot E^z$

As equações dimensionais em relação à massa (M), ao comprimento (L) e ao tempo (T) são dadas por:

$[F] = M\,L\,T^{-2}$

$[Vol] = L^3$

$[E] = M\,L^2\,T^{-2}$

$(M\,L\,T^{-2})^x \cdot M^y = L^3 \cdot (ML^2\,T^{-2})^z$

$M^{x+y}\,L^x\,T^{-2x} = M^z\,L^{3+2z} \cdot T^{-2z}$

Identificando-se os expoentes, vêm:

$x + y = z \quad (1)$

$3 + 2z = x \quad (2)$

$-2x = -2z \quad (3)$

De (3): $x = z$

Em (2): $3 + 2x = x \Rightarrow \boxed{x = -3 = z}$

Em (1): $-3 + y = -3 \Rightarrow \boxed{y = 0}$

Resposta: B

MÓDULO 2

Análise Dimensional

1. **(ITA-2008)** – Define-se intensidade I de uma onda como a razão entre a potência que essa onda transporta por unidade de área perpendicular à direção dessa propagação. Considere que para uma certa onda de amplitude a, frequência f e velocidade v, que se propaga em um meio de densidade ρ, foi determinada que a intensidade é dada por: $I = 2\pi^2 f^x \rho v a^y$. Indique quais são os valores adequados para x e y, respectivamente.

a) x = 2 ; y = 2 b) x = 1 ; y = 2
c) x = 1 ; y = 1 d) x = –2 ; y = 2
e) x = –2 ; y = –2

RESOLUÇÃO:

$I = 2\pi^2 f^x \rho v a^y$

$$[I] = \frac{Pot}{A} = \frac{ML^2T^{-3}}{L^2} = MT^{-3}$$

$[f] = T^{-1}$

$[\rho] = ML^{-3}$

$[v] = LT^{-1}$

$[a] = L$

$MT^{-3} = (T^{-1})^x \cdot ML^{-3} \cdot LT^{-1} \cdot L^y$

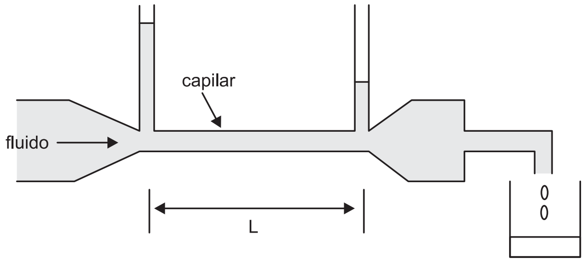
$MT^{-3} = M \cdot L^{-3+1+y} \cdot T^{-x-1}$

Portanto: $y - 2 = 0 \Rightarrow \boxed{y = 2}$

$-x - 1 = -3 \Rightarrow \boxed{x = 2}$

Resposta: A

2. **(ITA-2000)** – A figura a seguir representa um sistema experimental utilizado para determinar o volume de um líquido por unidade de tempo que escoa através de um tubo capilar de comprimento *L* e seção transversal de área *A*. Os resultados mostram que a quantidade desse fluxo depende da variação da pressão ao longo do comprimento *L* do tubo por unidade de comprimento (Δ*p*/*L*), do raio do tubo (*a*) e da viscosidade do fluido (η) na temperatura do experimento. Sabe-se que o coeficiente de viscosidade (η) de um fluido tem a mesma dimensão do produto de uma tensão (força por unidade de área) por um comprimento dividido por uma velocidade.
Recorrendo à análise dimensional, podemos concluir que o volume de fluido coletado por unidade de tempo é proporcional a



a) $\dfrac{A}{\eta}\ \dfrac{\Delta p}{L}$ b) $\dfrac{\Delta p}{L}\ \dfrac{a^4}{\eta}$ c) $\dfrac{L}{\Delta p}\ \dfrac{\eta}{a^4}$

d) $\dfrac{\Delta p}{L}\ \dfrac{\eta}{A}$ e) $\dfrac{L}{\Delta p}\ a^4\,\eta$

RESOLUÇÃO:

$$(1)\ Z = \frac{Vol}{\Delta t} \Rightarrow [Z] = \frac{L^3}{T} = L^3T^{-1}$$

$$(2)\ \frac{\Delta p}{L} = \frac{F}{AL} \Rightarrow \left[\frac{\Delta p}{L}\right] = \frac{MLT^{-2}}{L^3} = ML^{-2}T^{-2}$$

(3) $[a] = L$

(4) $\eta = \dfrac{F}{A} \cdot \dfrac{L}{V}$

$$[\eta] = \frac{MLT^{-2}}{L^2} \cdot \frac{L}{LT^{-1}} = ML^{-1}T^{-1}$$

De acordo com o texto:

$$Z = k \left(\frac{\Delta p}{L}\right)^x a^y \eta^z$$

$$L^3T^{-1} = (ML^{-2}T^{-2})^x L^y (ML^{-1}T^{-1})^z$$

$$L^3T^{-1} = M^{(x+z)} L^{-2x+y-z} T^{-2x-z}$$

Portanto:
$x + z = 0$ (1)
$-2x + y - z = 3$ (2)
$-2x - z = -1$ (3)

(1) + (3) : $-x = -1 \Rightarrow \boxed{x = 1}$

Em (1): $1 + z = 0 \Rightarrow \boxed{z = -1}$

Em (2): $-2 + y + 1 = 3 \Rightarrow \boxed{y = 4}$

Das quais: $\boxed{Z = k\left(\dfrac{\Delta p}{L}\right) . a^4 . \dfrac{1}{\eta}}$

Resposta: B

3. **(ITA-2005)** – Quando camadas adjacentes de um fluido viscoso deslizam regularmente umas sobre as outras, o escoamento resultante é dito laminar. Sob certas condições, o aumento da velocidade provoca o regime de escoamento turbulento, que é caracterizado pelos movimentos irregulares (aleatórios) das partículas do fluido. Observa-se, experimentalmente, que o regime de escoamento (laminar ou turbulento) depende de um parâmetro adimensional (Número de Reynolds) dado por $R = \rho^\alpha v^\beta d^\gamma \eta^\tau$, em que ρ é a densidade do fluido, v, sua velocidade, η, seu coeficiente de viscosidade, e d, uma distância característica associada à geometria do meio que circunda o fluido. Por outro lado, num outro tipo de experimento, sabe-se que uma esfera, de diâmetro D, que se movimenta num meio fluido, sofre a ação de uma força de arrasto viscoso dada por $F = 3\pi D\eta v$. Assim sendo, com relação aos respectivos valores de α, β, γ e τ, uma das soluções é

a) $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1, \tau = -1$
b) $\alpha = 1, \beta = -1, \gamma = 1, \tau = 1$
c) $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = -1, \tau = 1$
d) $\alpha = -1, \beta = 1, \gamma = 1, \tau = 1$
e) $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 0, \tau = 1$

RESOLUÇÃO:

(1) $F = 3\pi D \eta V$

$MLT^{-2} = L [\eta] L T^{-1}$

$$\boxed{[\eta] = M L^{-1} T^{-1}}$$

(2) $R = \rho^\alpha V^\beta d^\gamma \eta^\tau$

$M^0 L^0 T^0 = (M L^{-3})^\alpha (L T^{-1})^\beta L^\gamma (M L^{-1} T^{-1})^\tau$

$M^0 L^0 T^0 = M^{\alpha+\tau} L^{-3\alpha+\beta+\gamma-\tau} T^{-\beta-\tau}$

$\alpha + \tau = 0$

$-3\alpha + \beta + \gamma - \tau = 0$

$-\beta - \tau = 0$

Como temos três equações e quatro incógnitas, temos de optar por um valor de α sugerido nas alternativas e procurarmos os demais valores:

(1) $\boxed{\alpha = 1}$

(2) $\boxed{\tau = -1}$

(3) $\boxed{\beta = 1}$

(4) $-3 + 1 + \gamma + 1 = 0$

$\boxed{\gamma = 1}$

Resposta: A

4. **(ITA-2010)** – Pela teoria Newtoniana da gravitação, o potencial gravitacional devido ao Sol, assumindo simetria esférica, é dado por $-V = G\,M/r$, em que r é a distância média do corpo ao centro do Sol. Segundo a teoria da relatividade de Einstein, essa equação de Newton deve ser corrigida para $-V = GM/r + A/r^2$, em que A depende somente de G, de M e da velocidade da luz, c. Com base na análise dimensional e considerando k uma constante adimensional, assinale a opção que apresenta a expressão da constante A, seguida da ordem de grandeza da razão entre o termo de correção, A/r^2, obtido por Einstein, e o termo GM/r da equação de Newton, na posição da Terra, sabendo a priori que k = 1.

a) $A = kGM/c$ e 10^{-5}
b) $A = kG^2M^2/c$ e 10^{-8}
c) $A = kG^2M^2/c$ e 10^{-3}
d) $A = kG^2M^2/c^2$ e 10^{-5}
e) $A = kG^2M^2/c^2$ e 10^{-8}

RESOLUÇÃO:

1) $F = \dfrac{G\,M\,m}{r^2}$

$$M\,L\,T^{-2} = \frac{[G]\,M^2}{L^2} \Rightarrow \boxed{[G] = M^{-1}\,L^3\,T^{-2}}$$

2) $\left[\dfrac{A}{r^2}\right] = \left[\dfrac{GM}{r}\right]$

$$\frac{[A]}{L^2} = \frac{M^{-1}\,L^3\,T^{-2}\,.\,M}{L} \Rightarrow \boxed{[A] = L^4\,T^{-2}}$$

3) $A = k\,G^x\,M^y\,c^z$

$L^4\,T^{-2} = (M^{-1}\,L^3\,T^{-2})^x\,M^y\,(LT^{-1})^z$

$L^4\,T^{-2} = M^{-x+y}\,L^{3x+z}\,T^{-2x-z}$

$-x + y = 0$ (1)

$3x + z = 4$ (2)

$-2x - z = -2$

(2) + (3): $\boxed{x = 2}$

Em (1): $\boxed{y = 2}$

Em (2): $6 + z = 4 \Rightarrow \boxed{z = -2}$

$$\boxed{A = k\,\frac{G^2\,M^2}{c^2}}$$

4) $x = \dfrac{A/r^2}{GM/r} = \dfrac{A}{r^2}\,.\,\dfrac{r}{GM} = \dfrac{A}{G\,M\,r}$

$$A = \frac{G^2\,M^2}{c^2} \Rightarrow \frac{A}{GM} = \frac{GM}{c^2}$$

$$x = \frac{GM}{rc^2} = \frac{6{,}67\,.\,10^{-11}\,.\,1{,}99\,.\,10^{30}}{1{,}5\,.\,10^{11}\,.\,9{,}0\,.\,10^{16}}$$

$$\boxed{x = 0{,}98\,.\,10^{-8}}$$

Resposta: E

MÓDULO 3

Sistema Internacional de Unidades

1. CLASSES DE UNIDADES DO SI

Sistema Internacional de Unidades

Unidades de Base

Unidades Suplementares

Unidades Derivadas

* As unidades SI dessas três 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 nenhum fator numérico.

2. SÍMBOLOS

Unidades SI de Base

O SI baseia-se em sete unidades perfeitamente definidas, consideradas independentes do ponto de vista dimensional.

Grandeza	Nome	Símbolo
comprimento	metro	m
massa	quilograma	kg
tempo	segundo	s
intensidade de corrente elétrica	ampère	A
temperatura termodinâmica	kelvin	K
intensidade luminosa	candela	cd
quantidade de matéria	mol	mol

Exemplos de Unidades SI Derivadas e expressas a partir das Unidades de Base

Grandeza	Nome	Símbolo
superfície	metro quadrado	m^2
volume	metro cúbico	m^3
velocidade	metro por segundo	m/s
aceleração	metro por segundo ao quadrado	m/s^2
massa específica	quilograma por metro cúbico	kg/m^3

Unidades SI Derivadas e Possuidoras de Nomes Especiais

As unidades derivadas são as unidades que podem ser formadas combinando-se unidades de base por relações algébricas que interligam as grandezas correspondentes. Diversas unidades derivadas recebem nomes especiais, o que permite sua utilização na formação de outras grandezas derivadas. Exemplo: N (newton).

Grandeza	Nome	Símbolo	Expressão em outras Unidades SI	Expressão em Unidades de Base
frequência	hertz	Hz	–	s^{-1}
força	newton	N	–	$kg\ .\ m.s^{-2}$
pressão	pascal	Pa	N/m^2	$kg.m^{-1}.s^{-2}$
energia, trabalho, quantidade de calor	joule	J	N.m	$kg.m^2.s^{-2}$
potência, fluxo energético	watt	W	J/s	$kg.m^2.s^{-3}$
quantidade de carga elétrica	coulomb	C	—	s.A
potencial elétrico, tensão elétrica	volt	V	W/A	$kg.m^2.s^{-3}.A^{-1}$
resistência elétrica	ohm	Ω	V/A	$kg.m^2.s^{-3}.A^{-2}$

Unidades SI Suplementares

As unidades suplementares, uma terceira classe de unidades SI, são unidades para as quais não houve decisão se devem ser incluídas entre as unidades de base ou entre as unidades derivadas.

Grandeza	Nome	Símbolo
ângulo plano	radiano	rad
ângulo sólido	esterradiano	sr

Exemplos de Unidades SI Derivadas e Expressas com o Emprego de Unidades Suplementares

Grandeza	Nome	Símbolo
velocidade angular	radiano por segundo	rad/s
aceleração angular	radiano por segundo ao quadrado	rad/s^2

3. PRESCRIÇÕES GERAIS

Recomendações

a) Os símbolos das unidades são expressos em caracteres romanos, em geral, minúsculos; no entanto, se os símbolos derivam de nomes próprios, são utilizados caracteres romanos maiúsculos. Esses símbolos não são seguidos por pontos, nem variam no plural.

b) O produto de duas ou mais unidades pode ser indicado por N.m, N•m ou Nm.

c) Quando uma unidade derivada é constituída pela divisão de uma unidade por outra, pode-se utilizar a barra inclinada (/), o traço horizontal ou potências negativas. Por exemplo: m/s, $\frac{m}{s}$ ou $m.s^{-1}$.

d) Nunca repetir numa mesma linha várias barras inclinadas, a não ser com o emprego de parênteses, de modo a evitar quaisquer ambiguidades. Nos casos complexos, devem utilizar-se parênteses ou potências negativas. Por exemplo: m/s^2 ou $m.s^{-2}$, porém não m/s/s.

Grafia dos Nomes de Unidades

I) Quando escritos por extenso, os nomes das unidades começam por letra minúscula. Exemplos: ampère, kelvin, newton etc.

II) Na expressão de um valor numérico de uma grandeza, a respectiva unidade pode ser escrita por extenso ou representada pelo seu símbolo, não sendo admitidas combinações de partes escritas por extenso com partes expressas por símbolo. Exemplo: 10 quilovolts por milímetro ou 10kV/mm.

Plural dos Nomes de Unidades

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

a) os prefixos SI são sempre invariáveis;

b) os nomes de unidades recebem a letra "s" no final de cada palavra

– quando são palavras simples (ampères, candelas, curies, farads, joules, kelvins, quilogramas, volts, webers etc.);

– quando são palavras compostas em que o elemento complementar de um nome de unidade não é ligado a este por hífen (metros quadrados, milhas marítimas, unidades astronômicas etc.);

– quando são termos compostos por multiplicação, em que os componentes podem variar independentemente um do outro (ampères-horas, newtons-metros, ohms-metros, pascals-segundos, watts-horas etc.);

Exceções: não recebem a letra "s" no final

a) quando terminam pelas letras s, x ou z. Por exemplo: siemens, lux, hertz etc.;
b) quando correspondem ao denominador de unidades compostas por divisão (quilômetros por hora, lumens por watt, watts por esterradiano etc.);
c) quando, em palavras compostas, são elementos complementares de nomes de unidades e ligados a estes por hífen ou preposição. Por exemplo, anos-luz, elétrons-volt, quilogramas-força, unidades de massa atômica etc.

4. MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DECIMAIS DAS UNIDADES SI

Prefixos SI

Fator	Prefixo	Símbolo
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^{9}	giga	G
10^{6}	mega	M
10^{3}	quilo	k
10^{2}	hecto	h
10^{1}	deca	da

Fator	Prefixo	Símbolo
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

Regra para Emprego dos Prefixos SI

a) Os símbolos dos prefixos são impressos em caracteres romanos (verticais), sem espaçamento entre o símbolo do prefixo e o símbolo da unidade.
b) Se um símbolo que inclui um prefixo é dotado de expoente, isto significa que o múltiplo ou o submúltiplo da unidade é elevado à potência expressa pelo expoente; por exemplo:
$1\ cm^3 = (10^{-2}\ m)^3 = 10^{-6}\ m^3$
$1\ V/cm = (1V)/(10^{-2}m) = 10^2\ V/m$
c) Os prefixos compostos, formados pela justaposição de vários prefixos SI, não são admitidos; por exemplo:
1 nm, porém nunca 1 mμm.
d) A unidade de massa é a única unidade de base cujo nome contém um prefixo. Os nomes dos múltiplos e submúltiplos decimais da unidade de massa são formados pelo acréscimo dos prefixos à palavra grama. Exemplo:
$10^{-6}kg = 10^{-3}g = 1mg$
Nunca poderá ser dito 1 microquilograma (1μkg).
e) Um prefixo não deve ser empregado sozinho, por exemplo:
$10^6/m^3$, porém nunca M/m^3.

5. UNIDADES EM USO COM O SISTEMA INTERNACIONAL

São unidades que desempenham um papel importante e é necessário conservá-las para uso em geral, apesar de não fazerem parte do SI. As combinações dessas unidades devem ser evitadas.

Nome	Símbolo	Valor em Unidades SI
minuto	min	60s
hora	h	3600s
dia	d	86400s
grau	°	(π / 180) rad
minuto	’	(π / 10 800) rad
segundo	”	(π / 648 000) rad
litro	* ℓ	$10^{-3}m^3$
tonelada	t	10^3kg

* No Brasil, adota-se a letra ℓ (cursiva) como símbolo e, na falta desta, L.

6. UNIDADES MANTIDAS TEMPORARIAMENTE COM O SISTEMA INTERNACIONAL

Nome	Símbolo	Valor em Unidades SI
milha marítima	** —	1 852 m
nó	—	(1 852/3 600) m/s
angström	Å	10^{-10} m
bar	bar	10^5 Pa
atmosfera normal	atm	101 352 Pa

** Alguns autores adotam mn (milhas náuticas).

MÓDULO 4

Sistema Internacional de Unidades

1. **(EFOMM)** – Os símbolos das unidades fundamentais do Sistema Internacional de Unidades são
a) A, K, cd, s, kg, m, mol.
b) A, C, cd, s, kg, m, mol.
c) A, K, cd, S, kg, m, mol.
d) C, K, cd, s, kg, m, Mol.
e) A, K, N, s, kg, m, Mol.

Resposta: A

2. **(ITA)** – Qual dos conjuntos abaixo contém somente grandezas cujas medidas estão corretamente expressas em unidades SI (Sistema Internacional de Unidades)?
a) vinte graus Celsius, três newtons, 3,0seg.
b) 3 Volts, três metros, dez pascals.
c) 10kg, 5km, 20m/seg.
d) 4,0A, 3,2μ, 20 volts.
e) 100K, 30kg, 4,5mT.

Resposta: E

3. **(EFOMM)** – Um ampère-hora é igual a 3 600
a) watts. b) volts-segundos. c) watts-horas.
d) joules. e) coulombs.

RESOLUÇÃO:

(1) $\mathbf{i = \dfrac{Q}{\Delta t}}$

$\mathbf{Q = i \cdot \Delta t}$

$\mathbf{[Q] = [i]\,[\Delta t]}$

$\mathbf{[Q] = IT}$

(2) $\mathbf{u\,(Q) = A \cdot s = C}$

(3) Portanto:
1 A . h = 1A . 3600s
1 A . h = 3600s A . s

$\boxed{\mathbf{1\ A \cdot h = 3600C}}$

Resposta: E

4. **(FUVEST)** – Um motorista para em um posto e pede ao frentista para regular a pressão dos pneus de seu carro em 25 "libras" (abreviação da unidade "libra-força por polegada quadrada" ou "psi"). Essa unidade corresponde à pressão exercida por uma força igual ao peso da massa de 1 libra, distribuída sobre uma área de 1 polegada quadrada. Uma libra corresponde a 0,5kg e 1 polegada a 25 x 10^{-3}m, aproximadamente. Como 1 atm corresponde a cerca de 1 x 10^5 Pa no SI (e 1 Pa = 1 N/m^2), aquelas 25 "libras" pedidas pelo motorista equivalem aproximadamente a
a) 2 atm b) 1 atm c) 0,5 atm
d) 0,2 atm e) 0,01 atm

RESOLUÇÃO:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A}$$

Sendo m = 25 . 0,5kg = 12,5kg, g = $10m/s^2$ e A = 1 $(\text{polegada})^2$ = $(25 . 10^{-3})^2 m^2$, calculemos a pressão p.

$$p = \frac{12{,}5 . 10}{(25 . 10^{-3})^2} \left(\frac{N}{m^2} \text{ ou Pa}\right)$$

$$p = \frac{125}{625 . 10^{-6}} \text{ Pa} \Rightarrow \boxed{p = 2 . 10^5 \text{ Pa}}$$

Observando que $1 . 10^5$ Pa = 1atm, segue que

$$\boxed{p = 2\text{atm}}$$

Resposta: A

exercícios-tarefa

■ MÓDULOS 1 e 2

1. **(ITA-97)** – A força de gravitação entre dois corpos é dada pela expressão $F = G \dfrac{m_1 m_2}{r^2}$. A dimensão da constante de gravitação G é então:

a) $[L]^3 [M]^{-1} [T]^{-2}$ b) $[L]^3 [M] [T]^{-2}$
c) $[L] [M]^{-1} [T]^2$ d) $[L]^2 [M]^{-1} [T]^{-1}$
e) nenhuma

2. **(OLIMPÍADA PAULISTA DE FÍSICA)** – Um grupo de estudantes do ensino médio foi a uma exibição de para-quedismo acompanhado de seu professor de Física. O professor disse que o efeito de resistência do ar produzia uma força contrária ao sentido do movimento cujo módulo era dado por $F = k.v^2$, em que k é uma constante. Qual das alternativas a seguir fornece uma unidade de medida adequada para a grandeza k ?
a) k é adimensional e, portanto, é um número puro.
b) k pode ser medida em m/s.
c) k pode ser medida em J/s.
d) k pode ser medida em kg . m.
e) k pode ser medida em kg/m.

3. Dada a expressão da força de Lorentz:
$F = |q|\ v\ B \text{ sen } \alpha$, que descreve a intensidade da força F que atua em uma partícula com carga elérica q movimentando-se com velocidade de módulo V, a unidade **tesla** para a indução magnética $\vec{B}$ pode ser expressa por:

a) $m . A . s^{-1}$ b) $kg . m . s^{-2} . A$
c) $kg . m^{-1} . A . s$ d) $kg . A^{-1} . s^{-2}$
e) $kg . A . m . s^{-1}$

4. **(ITA-93)** – Num sistema de unidades em que as grandezas fundamentais são m (massa), p (quantidade de movimento), t (tempo) e i (corrente elétrica), as dimensões das seguintes grandezas — I) força, II) energia cinética, III) momento de uma força em relação a um ponto, IV) carga elétrica e V) resistência elétrica — são dadas por

	I	II	III	IV	V
a)	$p.t$	$p^2.m^{-1}$	$p^2.m^{-1}$	$i.t$	$p^2.m^{-1}.i^{-2}$
b)	$p.t^{-1}$	$p^2.m^{-2}$	$p^2.m^{-2}$	$i.t^{-1}$	$p.m.t.i$
c)	$p^{-2}.m.t$	$p.m.t$	$p.m.t^{-1}$	$i^{-1}.t$	$p^2.m . t^{-1}.i^{-2}$
d)	$p.t^{-1}$	$p^2.m^{-1}$	$p^2.m^{-1}$	$i.t$	$p^2.m^{-1}.t^{-1}.i^{-2}$
e)	$p^{-1}.m.t^{-2}$	$p^2.m$	$p^{-2}.m$	$i.t^2$	$i.t.m$

5. **(ITA-2004)** – Durante a apresentação do projeto de um sistema acústico, um jovem aluno do ITA esqueceu-se da expressão da intensidade de uma onda sonora. Porém, usando da intuição, concluiu ele que a intensidade média (I) é uma função da amplitude do movimento do ar (A), da frequência (f), da densidade do ar (ρ) e da velocidade do som (c), chegando à expressão $I = A^x f^y \rho^z c$. Considerando as grandezas fundamentais: massa, comprimento e tempo, assinale a opção correta que representa os respectivos valores dos expoentes x, y e z.
a) –1, 2, 2 b) 2, –1, 2 c) 2, 2, –1
d) 2, 2, 1 e) 2, 2, 2

6. **(IME)** – Seja a equação $T = 2m^a K^b L^c$, em que T é o tempo, m é a massa, K é $\dfrac{\text{força}}{\text{comprimento}}$ e L é o comprimento. Para que a equação seja dimensionalmente homogênea, determine os valores de a, b e c.

7. **(ITA-2002)** – Em um experimento, verificou-se a proporcionalidade existente entre energia e frequência de emissão de uma radiação característica. Neste caso, a constante de proporcionalidade, em termos dimensionais, é equivalente a
a) Força.
b) Quantidade de Movimento.
c) Momento Angular.
d) Pressão.
e) Potência.

8. **(ITA-98)** – O módulo da velocidade de uma onda transversal, em uma corda tensa, depende da intensidade da força tensora **F** a que está sujeita a corda, de sua massa **m** e de seu comprimento **d**.
Fazendo uma análise dimensional, concluímos que o módulo da velocidade é proporcional a:

a) $\dfrac{F}{md}$ b) $\left(\dfrac{Fm}{d}\right)^2$ c) $\left(\dfrac{Fm}{d}\right)^{1/2}$

d) $\left(\dfrac{Fd}{m}\right)^{1/2}$ e) $\left(\dfrac{md}{F}\right)^2$

9. A lei que relaciona a potência (P) de uma hélice ao seu raio (R), ao número de rotações por minuto (f) do motor e à densidade volumétrica (ρ) do meio envolvente é do tipo
$P = K \,.\, R^{\alpha} \,.\, f^{\beta} \,.\, \rho^{\gamma}$
Obter a fórmula correspondente, por análise dimensional, a menos do coeficiente K.

■ MÓDULOS 3 e 4

Nos exercícios de 1 a 9, são feitas afirmações sobre algumas grandezas físicas.
Considerando as convenções e definições do SI, julgue as afirmações como falsas (F) ou verdadeiras (V). Caso a afirmação seja falsa, corrija-a. Os valores numéricos são corretos.

1. A intensidade da aceleração da gravidade normal é 9,80665 m/s/s.
2. A velocidade da luz no vácuo tem módulo aproximadamente igual a 299.792.458 $m.s^{-1}$.
3. O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de 1/299.792.458 de segundo.
4. Um fusível pode ser fabricado para suportar corrente elétrica de intensidade igual a 100 ampères.
5. Um homem consegue aplicar uma força de 10 Newtons em uma tábua.
6. A temperatura de um ser humano é próxima de 36,5 graus Celsius.
7. Um campo elétrico pode ter intensidade igual a 10 kilovolts/m.
8. Em uma resistência elétrica, a energia elétrica consumida pode ser igual a 350 quilowatts-horas.
9. Um carro pode locomover-se com uma velocidade de 10 kilômetros por hora.

resolução dos exercícios-tarefa

■ MÓDULOS 1 e 2

1)
$$\boxed{F = G\,\frac{m_1 m_2}{r^2}}$$

$[F] = M\,L\,T^{-2}$
$[m_1] = [m_2] = M$
$[r] = L$
Portanto: $M\,L\,T^{-2} = [G]\,\dfrac{M^2}{L^2}$

$$\boxed{[G] = M^{-1}\,L^3\,T^{-2}}$$

Resposta: A

2) $F = k\,V^2$
$MLT^{-2} = [\,k\,]\,(LT^{-1})^2$
$MLT^{-2} = [\,k\,]\,L^2T^{-2}$
$[\,k\,] = ML^{-1}$
$u\,(k) = kg \,.\, m^{-1} = kg/m$
Resposta: E

3) $F = q\,V\,B\,\text{sen}\,\alpha$
$MLT^{-2} = I \,.\, T \,.\, LT^{-1}\,[B]$
$[B] = MT^{-2}I^{-1}$
$u\,(B) = kg \,.\, s^{-2} \,.\, A^{-1}$
Resposta: D

4) (I) **Teorema do Impulso:**

$$I = F \cdot \Delta t = \Delta p \Rightarrow F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$[F] = pt^{-1}$$

(II) **Energia Cinética:**

$$E_C = \frac{p^2}{2m}$$

$$[E_C] = p^2 \cdot m^{-1}$$

(III) **Momento de uma força:**

$$M = F \cdot d$$

$$[M] = F \cdot d$$

$$[M] = [E_C] = p^2 \cdot m^{-1}$$

(IV) **Carga Elétrica:**

$$i = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = i\,\Delta t \Rightarrow [Q] = i \cdot t$$

(V) **Resistência Elétrica:**

$$P_{ot} = U\,i$$

$$\frac{\tau}{\Delta t} = R\,i^2$$

$$R = \frac{\tau}{\Delta t\, i^2}$$

$$[R] = p^2 m^{-1}\, t^{-1}\, i^{-2}$$

Resposta: D

5) **A equação dimensional da intensidade de onda é dada por:**

$$I = \frac{\text{Potência}}{\text{Área}} \Rightarrow [I] = \frac{[Pot]}{[A]} = \frac{ML^2T^{-3}}{L^2} = MT^{-3}$$

Portanto:

$$[I] = [A]^x\, [f]^y\, [\rho]^z \cdot [c]$$

$$MT^{-3} = L^x\,(T^{-1})^y\,(ML^{-3})^z\, LT^{-1}$$

$$MT^{-3} = M^z\, L^{x-3z+1}\, T^{-y-1}$$

Identificando-se os expoentes, vem:

$$\begin{aligned} z &= 1 \\ x - 3z + 1 &= 0 \\ -y - 1 &= -3 \end{aligned} \qquad \boxed{\begin{aligned} z &= 1 \\ y &= 2 \\ x &= 2 \end{aligned}}$$

Resposta: D

6) $T = 2m^a\, K^b\, L^c$

$$T = 2m^a \left(\frac{F}{L}\right)^b L^c$$

$$[T] = [m]^a\, \frac{[F]^b}{[L]^b}\, [L]^c$$

$$M^0\, L^0\, T^1 = M^a\, \frac{(M\,L\,T^{-2})^b}{L^b}\, L^c$$

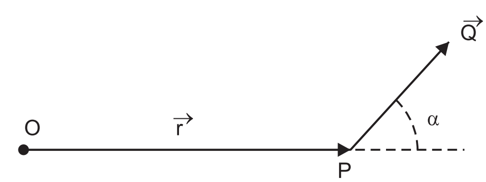
$$M^0\, L^0\, T^1 = M^{a+b}\, L^c\, T^{-2b}$$

Assim: $a + b = 0 \qquad c = 0 \qquad -2b = 1$

Portanto: $a = \frac{1}{2} \qquad b = -\frac{1}{2} \qquad c = 0$

Resposta: $\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}$ e 0

7) **Para uma partícula com quantidade de movimento $\vec{Q}$, ocupando uma posição P, define-se quantidade de movimento angular $\vec{L}$, em relação a um ponto O, como sendo o produto vetorial entre $\vec{Q}$ e o vetor posição $\vec{r} = P - O$.**



O módulo de $\vec{L}$ é dado por

$$|\vec{L}| = |\vec{Q}|\,|\vec{r}|\,\text{sen}\,\alpha$$

Em relação às grandezas fundamentais massa (M), comprimento (L) e tempo (T), temos

$$[\vec{L}] = M\,L\,T^{-1} \cdot L = M\,L^2\,T^{-1}$$

Por outro lado, a energia E relaciona-se com a frequência f por

$$E = h\,f \Rightarrow h = \frac{E}{f} \Rightarrow [h] = \frac{M\,L^2\,T^{-2}}{T^{-1}}$$

$$[h] = M\,L^2\,T^{-1}$$

Portanto $[\vec{L}] = [h]$

Resposta: C

8) **De acordo com o texto, temos:**

$V = k\ F^x\ m^y\ d^z$

$[V] = LT^{-1}$

$[F] = MLT^{-2}$

$[m] = M$

$[d] = L$

$LT^{-1} = (MLT^{-2})^x\ M^y\ L^z$

$LT^{-1} = M^{x+y}\ L^{x+z}\ T^{-2x}$

$$\left.\begin{array}{l} x + y = 0 \\ x + z = 1 \\ -2x = -1 \end{array}\right\} \Rightarrow \begin{array}{l} x = \dfrac{1}{2} \\ y = -\dfrac{1}{2} \\ z = \dfrac{1}{2} \end{array}$$

Portanto:

$$V = k\sqrt{\frac{F\,d}{m}} \quad \text{ou} \quad \boxed{V = k\left(\frac{F\,.\,d}{m}\right)^{1/2}}$$

Resposta: D

9) (1) $P = k\ .\ R^{\alpha}\ f^{\beta}\ \rho^{\gamma}$

$[P] = [R]^{\alpha}\ [f]^{\beta}\ [\rho]^{\gamma}$

$M\ L^2\ T^{-3} = [L]^{\alpha}\ [T^{-1}]^{\beta}\ [M\ L^{-3}]^{\gamma}$

$M\ L^2\ T^{-3} = L^{\alpha}\ T^{-\beta}\ M^{\gamma}\ L^{-3\gamma}$

$M\ L^2\ T^{-3} = M^{\gamma}\ L^{(\alpha - 3\gamma)}\ L^{-\beta}$

Assim, temos:

$\gamma = 1$

$\alpha - 3\gamma = 2$

$-\beta = -3$

Portanto: $\alpha = 5 \qquad \beta = 3 \qquad \gamma = 1$

(2) $P = K\ R^{\alpha}\ f^{\beta}\ \rho^{\gamma}$

$$\boxed{P = K\ R^5\ f^3\ \rho}$$

Resposta: $p = K\ R^5\ f^3\ \rho$

■ MÓDULOS 3 e 4

1. Falsa (9,806 65 m/s^2)
2. Falsa (299 792 458)
3. Falsa (1 / 299 792 458)
4. Verdadeira
5. Falsa (newtons ou N)
6. Verdadeira
7. Falsa (quilovolts por metro ou kV/m)
8. Verdadeira
9. Falsa (quilômetros por hora ou km/h)