

## APÊNDICE A

# O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI)\*

### 1. AS UNIDADES FUNDAMENTAIS DO SI

GRANDEZA	NOME	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)
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	ampère	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 esses condutores uma força igual a $2 \times 10^{-7}$ newtons por metro de comprimento." (1946)
temperatura termodinâmica	kelvin	K	"... a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água." (1967)
quantidade de substância	mol	mol	"... a quantidade de substância de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos 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 newtons por metro quadrado." (1967)

\*Adaptado do "The International System of Units (SI)," National Bureau of Standards Special Publication 330, edição de 1972. As definições acima foram adotadas pela Conferência Geral de Pesos e Medidas, organismo internacional, nas datas mencionadas. Neste livro, não usamos a candela.

## 2. ALGUMAS UNIDADES DERIVADAS DO SI

GRANDEZA	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO
área	metro quadrado	m <sup>2</sup>
volume	metro cúbico	m <sup>3</sup>
freqüência	hertz	Hz s <sup>-1</sup>
massa específica (densidade)	quilograma por metro cúbico	kg/m <sup>3</sup>
velocidade, velocidade escalar	metro por segundo	m/s
velocidade angular	radiano por segundo	rad/s
aceleração	metro por segundo por segundo	m/s <sup>2</sup>
aceleração angular	radiano por segundo por segundo	rad/s <sup>2</sup>
força	newton	N kg·m/s <sup>2</sup>
pressão	pascal	Pa N/m <sup>2</sup>
trabalho, energia, quantidade de calor	joule	J N·m
potência	watt	W J/s
quantidade de carga elétrica	coulomb	C A·s
diferença de potencial, força eletromotriz	volt	V W/A
intensidade do campo elétrico	volt por metro (ou newton por coulomb)	V/m N/C
resistência elétrica	ohm	Ω V/A
capacitância	farad	F A·s/V
fluxo magnético	weber	Wb V·s
indutância	henry	H V·s/A
densidade de fluxo magnético	tesla	T Wb/m <sup>2</sup>
intensidade do campo magnético	ampère por metro	A/m
entropia	joule por kelvin	J/K
calor específico	joule por quilograma kelvin	J/(kg·K)
condutividade térmica	watt por metro kelvin	W/(m·K)
intensidade radiante	watt por esterradiano*	W/sr

## 3. UNIDADES SUPLEMENTARES DO SI

GRANDEZA	NOME DA UNIDADE	SÍMBOLO
ângulo plano	radiano	rad
ângulo sólido	esterradiano*	sr

\*Embora o termo seja bem conhecido como *estereorradiano*, inclusive assim dicionarizado, preferimos usar a grafia recomendada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e registrada nos *Cadernos IEL* (Volume 8 — Sistema Internacional de Unidades). (N. do T.)

## APÊNDICE B

# ALGUMAS CONSTANTES FUNDAMENTAIS DA FÍSICA\*

CONSTANTE	SÍMBOLO	VALOR PARA CÁLCULO	MELHOR VALOR (1986)	
			VALOR <sup>a</sup>	INCERTEZA <sup>b</sup>
Velocidade da luz no vácuo	$c$	$3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$	2,99792458	exato
Carga elementar	$e$	$1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$	1,60217738	0,30
Massa do elétron	$m_e$	$9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$	9,1093897	0,59
Massa do próton	$m_p$	$1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$	1,6726230	0,59
Razão entre a massa do próton e a massa do elétron	$m_p/m_e$	1.840	1.836,152701	0,020
Massa de nêutron	$m_n$	$1,68 \times 10^{-27} \text{ kg}$	1,6749286	0,59
Massa do múon	$m_\mu$	$1,88 \times 10^{-28} \text{ kg}$	1,8835326	0,61
Massa do elétron <sup>c</sup>	$m_e$	$5,49 \times 10^{-4} \text{ u}$	5,48579902	0,023
Massa do próton <sup>c</sup>	$m_p$	1,0073 u	1,007276470	0,012
Massa do nêutron <sup>c</sup>	$m_n$	1,0087 u	1,008664704	0,014
Massa do átomo de hidrogênio <sup>c</sup>	$m_{1\text{H}}$	1,0078 u	1,007825035	0,011
Massa do átomo de deutério <sup>c</sup>	$m_{2\text{H}}$	2,0141 u	2,0141019	0,053
Massa do átomo de hélio <sup>c</sup>	$m_{4\text{He}}$	4,0026 u	4,0026032	0,067
Razão entre a carga e a massa do elétron	$e/m_e$	$1,76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$	1,75881961	0,30
Permissividade elétrica do vácuo	$\epsilon_0$	$8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$	8,85418781762	exato
Permeabilidade magnética do vácuo	$\mu_0$	$1,26 \times 10^{-6} \text{ H/m}$	1,25663706143	exato
Constante de Planck	$h$	$6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$	6,6260754	0,60
Comprimento de onda Compton do elétron	$\lambda_C$	$2,43 \times 10^{-12} \text{ m}$	2,42631058	0,089
Constante universal dos gases	$R$	$8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$	8,314510	8,4
Número de Avogadro	$N_A$	$6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	6,0221367	0,59
Constante de Boltzmann	$k$	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$	1,380657	11
Volume molar de um gás ideal em CNTP <sup>d</sup>	$V_m$	$2,24 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol}$	2,241409	8,4
Constante de Faraday	$F$	$9,65 \times 10^4 \text{ C/mol}$	9,6485309	0,30
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma$	$5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4$	5,67050	34
Constante de Rydberg	$R$	$1,10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$	1,0973731534	0,0012
Constante da gravitação universal	$G$	$6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}^2\cdot\text{kg}$	6,67260	100
Raio de Bohr	$r_B$	$5,29 \times 10^{-11} \text{ m}$	5,29177249	0,045
Momento magnético do elétron	$\mu_e$	$9,28 \times 10^{-24} \text{ J/T}$	9,2847700	0,34
Momento magnético do próton	$\mu_p$	$1,41 \times 10^{-26} \text{ J/T}$	1,41060761	0,34
Magnéton de Bohr	$\mu_B$	$9,27 \times 10^{-24} \text{ J/T}$	9,2740154	0,34
Magnéton nuclear	$\mu_N$	$5,05 \times 10^{-27} \text{ J/T}$	5,0507865	0,34

<sup>a</sup>Os valores nesta coluna têm as mesmas unidades e as mesmas potências de 10 que os valores para cálculo.

<sup>b</sup>Em partes por milhão.

<sup>c</sup>Estas massas estão em unidades de massa atômica unificada (u), com  $1 \text{ u} = 1,6605402 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .

<sup>d</sup>CNTP significa condições normais de temperatura e pressão: 0°C e 1,0 atm (0,1 MPa).

\*Os valores desta tabela foram escolhidos, em grande parte, de uma listagem maior em *Symbols, Units and Nomenclature in Physics* (IUPAP), preparada por E. Richard Cohen e Pierre Giacomo, 1986.

## APÊNDICE C

# ALGUNS DADOS ASTRONÔMICOS

### ALGUMAS DISTÂNCIAS DA TERRA

Até a Lua*	$3,82 \times 10^8 \text{ m}$
Até o Sol	$1,50 \times 10^{11} \text{ m}$
Até a estrela mais próxima (Proxima Centauri)	$4,04 \times 10^{16} \text{ m}$
Até o centro da nossa galáxia	$2,2 \times 10^{20} \text{ m}$
Até a galáxia de Andrômeda	$2,1 \times 10^{22} \text{ m}$
Até a fronteira do universo observável	$\sim 10^{26} \text{ m}$

\*Distância média.

### O SOL, A TERRA E A LUA

PROPRIEDADE	UNIDADE	SOL	TERRA	LUA
Massa	kg	$1,99 \times 10^{30}$	$5,98 \times 10^{24}$	$7,36 \times 10^{22}$
Raio médio	m	$6,96 \times 10^8$	$6,37 \times 10^6$	$1,74 \times 10^6$
Densidade média	kg/m <sup>3</sup>	1.410	5.520	3.340
Aceleração da gravidade na superfície	m/s <sup>2</sup>	274	9,81	1,67
Velocidade de escape	km/s	618	11,2	2,38
Período de rotação <sup>a</sup>	—	37 d nos pólos <sup>b</sup> 26 d no equador <sup>b</sup>	23 h 56 min	27,3 d
Potência de radiação <sup>c</sup>	W	$3,90 \times 10^{26}$		

<sup>a</sup>Medido em relação às estrelas distantes.

<sup>b</sup>O Sol, uma bola de gás, não gira como um corpo rígido.

<sup>c</sup>A energia solar é recebida na fronteira da atmosfera, sob incidência normal, à taxa de 1.340 W/m<sup>2</sup>.

## ALGUMAS PROPRIEDADES DOS PLANETAS

	MERCÚRIO	VÊNUS	TERRA	MARTE	JÚPITER	SATURNO	URANO	NETUNO	PLUTÃO
Distância média ao Sol, 10 <sup>6</sup> km	57,9	108	150	228	778	1.430	2.870	4.500	5.900
Período de revolução, anos	0,241	0,615	1,00	1,88	11,9	29,5	84,0	165	248
Período de rotação, <sup>a</sup> dias	58,7	-243 <sup>b</sup>	0,997	1,03	0,409	0,426	-0,451 <sup>b</sup>	0,658	6,39
Velocidade orbital, km/s	47,9	35,0	29,8	24,1	13,1	9,64	6,81	5,43	4,74
Inclinação do eixo do planeta na órbita	<28°	≈3°	23,4°	25,0°	3,08°	26,7°	97,9°	29,6°	57,5°
Inclinação da órbita em relação ao plano da órbita da Terra	7,00°	3,39°		1,85°	1,30°	2,49°	0,77°	1,77°	17,2°
Excentricidade da órbita	0,206	0,0068	0,0167	0,0934	0,0485	0,0556	0,0472	0,0086	0,250
Diâmetro equatorial, km	4.880	12.100	12.800	6.790	143.000	120.000	51.800	49.500	2.300
Massa (Terra = 1)	0,0558	0,815	1,000	0,107	318	95,1	14,5	17,2	0,002
Densidade (água = 1)	5,60	5,20	5,52	3,95	1,31	0,704	1,21	1,67	2,03
Valor de g na superfície, <sup>c</sup> m/s <sup>2</sup>	3,78	8,60	9,78	3,72	22,9	9,05	7,77	11,0	0,5
Velocidade de escape, <sup>c</sup> km/s	4,3	10,3	11,2	5,0	59,5	35,6	21,2	23,6	1,1
Satélites conhecidos	0	0	1	2	16 + anel	18 + anéis	15 + anéis	8 + anéis	1

<sup>a</sup>Medido com relação às estrelas distantes.<sup>b</sup>Vênus e Urano giram em sentido oposto ao seu movimento orbital.<sup>c</sup>Aceleração da gravidade medida no equador do planeta.

## APÊNDICE D

# PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS

Todas as propriedades físicas referem-se à pressão de 1 atm, exceto quando há observação em contrário.

ELEMENTO	SÍMBOLO	NÚMERO ATÔMICO, Z	MASSA MOLAR, g/mol	MASSA ESPECÍFICA (DENSIDADE) g/cm <sup>3</sup> A 20°C	PONTO DE FUSÃO, °C	PONTO DE EBULIÇÃO, °C	CALOR ESPECÍFICO, J/(g·°C) A 25°C
Actínio	Ac	89	(227)	10,06	1.323	(3.473)	0,092
Alumínio	Al	13	26,9815	2,699	660	2.450	0,900
Americío	Am	95	(243)	13,67	1.541	—	—
Antimônio	Sb	51	121,75	6,691	630,5	1.380	0,205
Argônio	Ar	18	39,948	$1,6626 \times 10^{-3}$	-189,4	-185,8	0,523
Arsênio	As	33	74,9216	5,78	817 (28 atm)	613	0,331
Astatínio	At	85	(210)	—	(302)	—	—
Bário	Ba	56	137,34	3,594	729	1.640	0,205
Berílio	Be	4	9,0122	1,848	1.287	2.770	1,83
Berquélio	Bk	97	(247)	14,79	—	—	—
Bismuto	Bi	83	208,980	9,747	271,37	1.560	0,122
Boro	B	5	10,811	2,34	2.030	—	1,11
Bromo	Br	35	79,909	3,12 (líquido)	-7,2	58	0,293
Cádmio	Cd	48	112,40	8,65	321,03	765	0,226
Cálcio	Ca	20	40,08	1,55	838	1.440	0,624
Califórnio	Cf	98	(251)	—	—	—	—
Carbono	C	6	12,01115	2,26	3.727	4.830	0,691
Centésimo quarto	Unq	104	261	—	—	—	—
Centésimo quinto	Unp	105	262	—	—	—	—
Cério	Ce	58	140,12	6,768	804	3.470	0,188
Césio	Cs	55	132,905	1,873	28,40	690	0,243
Chumbo	Pb	82	207,19	11,35	327,45	1.725	0,129
Cloro	Cl	17	35,453	$3,214 \times 10^{-3}$ (0°C)	-101	-34,7	0,486
Cobalto	Co	27	58,9332	8,85	1.495	2.900	0,423
Cobre	Cu	29	63,54	8,96	1.083,40	2.595	0,385
Criptônio	Kr	36	83,80	$3,488 \times 10^{-3}$	-157,37	-152	0,247
Cromo	Cr	24	51,996	7,19	1.857	2.665	0,448
Cúrio	Cm	96	(247)	13,3	—	—	—
Disprósio	Dy	66	162,50	8,55	1.409	2.330	0,172
Einsteinio	Es	99	(254)	—	—	—	—
Enxofre	S	16	32,064	2,07	119,0	444,6	0,707
Érbio	Er	68	167,26	9,15	1.522	2.630	0,167
Escândio	Sc	21	44,956	2,99	1.539	2.730	0,569
Estanho	Sn	50	118,69	7,2984	231,868	2.270	0,226
Estrôncio	Sr	38	87,62	2,54	768	1.380	0,737
Európio	Eu	63	151,96	5,243	817	1.490	0,163
Férmio	Fm	100	(237)	—	—	—	—
Ferro	Fe	26	55,847	7,874	1.536,5	3.000	0,447
Flúor	F	9	18,9984	$1,696 \times 10^{-3}$ (0°C)	-219,6	-188,2	0,753
Fósforo	P	15	30,9738	1,83	44,25	280	0,741
Frâncio	Fr	87	(223)	—	(27)	—	—
Gadolínio	Gd	64	157,25	7,90	1.312	2.730	0,234
Gálio	Ga	31	69,72	5,907	29,75	2.237	0,377
Alemanha	Ge	32	72,59	5,323	937,25	2.830	0,322
Háfnio	Hf	72	178,49	13,31	2.227	5.400	0,144
Hélio	He	2	4,0026	$0,1664 \times 10^{-3}$	-269,7	-268,9	5,23

ELEMENTO	SÍMBOLO	NÚMERO ATÔMICO, Z	MASSA MOLAR, g/mol	MASSA ESPECÍFICA (DENSIDADE) g/cm <sup>3</sup> A 20°C	PONTO DE FUSÃO, °C	PONTO DE EBULIÇÃO, °C	CALOR ESPECÍFICO, J/(g·°C) A 25°C
Hidrogênio	H	1	1,00797	$0,08375 \times 10^{-3}$	-259,19	-252,7	14,4
Hólmio	Ho	67	164,930	8,79	1.470	2.330	0,165
Índio	In	49	114,82	7,31	156,634	2.000	0,233
Iodo	I	53	126,9044	4,93	113,7	183	0,218
Írídio	Ir	77	192,2	22,5	2.447	(5.300)	0,130
Ítérbio	Yb	70	173,04	6,965	824	1.530	0,155
Ítrio	Y	39	88,905	4,469	1.526	3.030	0,297
Lantânio	La	57	138,91	6,189	920	3.470	0,195
Laurêncio	Lr	103	(257)	—	—	—	—
Lítio	Li	3	6,939	0,534	180,55	1.300	3,58
Lutécio	Lu	71	174,97	9,849	1.663	1.930	0,155
Magnésio	Mg	12	24,312	1,738	650	1.107	1,03
Manganês	Mn	25	54,9380	7,44	1.244	2.150	0,481
Mendelévio	Md	101	(256)	—	—	—	—
Merúrio	Hg	80	200,59	13,55	-38,87	357	0,138
Molibdênio	Mo	42	95,94	10,22	2.617	5.560	0,251
Neodímio	Nd	60	144,24	7,007	1.016	3.180	0,188
Neônio	Ne	10	20,183	$0,8387 \times 10^{-3}$	-248,597	-246,0	1,03
Netúnio	Np	93	(237)	20,25	637	—	1,26
Nióbio	Nb	41	92,906	8,57	2.468	4.927	0,264
Níquel	Ni	28	58,71	8,902	1.453	2.730	0,444
Nitrogênio	N	7	14,0067	$1,1649 \times 10^{-3}$	-210	-195,8	1,03
Nobélio	No	102	(255)	—	—	—	—
Ósmio	Os	76	190,2	22,59	3.027	5.500	0,130
Ouro	Au	79	196,967	19,32	1.064,43	2.970	0,131
Oxigênio	O	8	15,9994	$1,3318 \times 10^{-3}$	-218,80	-183,0	0,913
Paládio	Pd	46	106,4	12,02	1.552	3.980	0,243
Platina	Pt	78	195,09	21,45	1.769	4.530	0,134
Plutônio	Pu	94	(244)	19,8	640	3.235	0,130
Polônio	Po	84	(210)	9,32	254	—	—
Potássio	K	19	39,102	0,862	63,20	760	0,758
Praseodímio	Pr	59	140,907	6,773	931	3.020	0,197
Prata	Ag	47	107,870	10,49	960,8	2.210	0,234
Promécio	Pm	61	(145)	7,22	(1.027)	—	—
Protactínio	Pa	91	(231)	15,37 (estimada)	(1.230)	—	—
Rádio	Ra	88	(226)	5,0	700	—	—
Radônio	Rn	86	(222)	$9,96 \times 10^{-3}$ (0°C)	(-71)	-61,8	0,092
Rênio	Re	75	186,2	21,02	3.180	5.900	0,134
Ródio	Rh	45	102,905	12,41	1.963	4.500	0,243
Rubídio	Rb	37	85,47	1,532	39,49	688	0,364
Rutênio	Ru	44	101,107	12,37	2.250	4.900	0,239
Samário	Sm	62	150,35	7,52	1.072	1.630	0,197
Selênio	Se	34	78,96	4,79	221	685	0,318
Silício	Si	14	28,086	2,33	1.412	2.680	0,712
Sódio	Na	11	22,9898	0,9712	97,85	892	1,23
Tálio	Tl	81	204,37	11,85	304	1.457	0,130
Tântalo	Ta	73	180,948	16,6	3.014	5.425	0,138
Tecnécio	Tc	43	(99)	11,46	2.200	—	0,209
Telúrio	Te	52	127,60	6,24	449,5	990	0,201
Térbio	Tb	65	158,924	8,229	1.357	2.530	0,180
Titânio	Ti	22	47,90	4,54	1.670	3.260	0,523
Tório	Th	90	(232)	11,72	1.755	(3.850)	0,117
Tólio	Tm	69	168,934	9,32	1.545	1.720	0,159
Tungstênio	W	74	183,85	19,3	3.380	5.930	0,134
Urânio	U	92	(238)	18,95	1.132	3.818	0,117
Vanádio	V	23	50,942	6,11	1.902	3.400	0,490
Xenônio	Xe	54	131,30	$5,495 \times 10^{-3}$	-111,79	-108	0,159
Zinco	Zn	30	65,37	7,133	419,58	906	0,389
Zircônio	Zr	40	91,22	6,506	1.852	3.580	0,276

Os valores entre parênteses, na coluna das massas molares, são os números de massa do isótopo de vida mais longa dos elementos radioativos. Os pontos de fusão e de ebulição entre parênteses são incertos.

Os dados para os gases valem somente quando cada qual está no seu estado molecular ordinário, por exemplo, H<sub>2</sub>, He, O<sub>2</sub>, Ne etc. Os calores específicos dos gases são os valores a pressão constante.

Fonte: Adaptado de Wehr, Richards, Adair, *Physics of the Atom*, 4.<sup>a</sup> ed., Addison-Wesley, Reading, MA, 1984, e também de J. Emsley, *The Elements*, 2.<sup>a</sup> ed., Clarendon Press, Oxford, 1991.

## APÊNDICE E

# TABELA PERIÓDICA DOS ELEMENTOS

Metais alcalinos IA																		Gases nobres VIII						
1																		2						
1	H																	He						
2	Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	Metais de transição																Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
7	Fr	Ra	Ac	Ku†	Ha†	**	**	**	**	...														

Metais de transição interna

Série dos lantanídeos\*

Série dos actinídeos†

†O nome do elemento curchatóvio (símbolo Ku) é uma homenagem ao cientista Igor V. Kurchatov. Também se utiliza a denominação ruterfórdio (símbolo Rf), em homenagem ao cientista Ernst R. Rutherford. A primazia do nome ainda está em debate. (N. do T.)

‡O nome do elemento é hahnio. (N. do R.)

\*\*Elementos ainda não denominados.



## APÊNDICE F

# FATORES DE CONVERSÃO

Os fatores de conversão podem ser lidos diretamente nas tabelas seguintes. Por exemplo, 1 grau =  $2,778 \times 10^{-3}$  revolução, e então  $16,7^\circ = 16,7 \times 2,778 \times 10^{-3}$  rev. As unidades

des SI estão em maiúsculas. As tabelas foram adaptadas, em parte, de G. Shortley e D. Williams, *Elements of Physics*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1971.

### ÂNGULO PLANO

	'	''	RADIANO	rev
1 grau = 1	60	3.600	$1,745 \times 10^{-2}$	$2,778 \times 10^{-3}$
1 minuto = $1,667 \times 10^{-2}$	1	60	$2,909 \times 10^{-4}$	$4,630 \times 10^{-5}$
1 segundo = $2,778 \times 10^{-4}$	$1,667 \times 10^{-2}$	1	$4,848 \times 10^{-6}$	$7,716 \times 10^{-7}$
1 RADIANO = 57,30	3.438	$2,063 \times 10^5$	1	0,1592
1 revolução (volta) = 360	$2,16 \times 10^4$	$1,296 \times 10^6$	6,283	1

### ÂNGULO SÓLIDO

1 esfera =  $4\pi$  esterradianos = 12,57 esterradianos

### COMPRIMENTO

	cm	METRO	km	in.	ft	mi
1 centímetro = 1	1	$10^{-2}$	$10^{-5}$	0,3937	$3,281 \times 10^{-2}$	$6,214 \times 10^{-6}$
1 METRO = 100	100	1	$10^{-3}$	39,37	3,281	$6,214 \times 10^{-4}$
1 quilômetro = $10^3$	1.000	$1,000$	1	$3,937 \times 10^3$	3,281	0,6214
1 polegada = 2,540	2,540	$2,540 \times 10^{-2}$	$2,540 \times 10^{-5}$	1	$8,333 \times 10^{-2}$	$1,578 \times 10^{-5}$
1 pé = 30,48	30,48	0,3048	$3,048 \times 10^{-4}$	12	1	$1,894 \times 10^{-4}$
1 milha = $1,609 \times 10^3$	1.609	1,609	1,609	$6,336 \times 10^3$	5.280	1
1 angström = $10^{-10}$		1 fermi = $10^{-15}$ m		1 braça = 6 pés		1 vara = 16,5 pés
1 milha náutica = 1.852 m		1 ano-luz = $9,460 \times 10^{12}$ km		1 raio de Bohr = $5,292 \times 10^{-11}$ m		1 mil = $10^{-3}$ polegadas
= 1,151 milhas = 6.076 pés		1 parsec = $3,084 \times 10^{13}$ km		1 jarda = 3 pés		1 nm = $10^{-9}$ m

### ÁREA

	METRO <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>	in. <sup>2</sup>
1 METRO QUADRADO = 1	1	$10^4$	10,76	1,550
1 centímetro quadrado = $10^{-4}$	$10^{-4}$	1	$1,076 \times 10^{-3}$	0,1550
1 pé quadrado = $9,290 \times 10^{-2}$	$9,290 \times 10^{-2}$	929,0	1	144
1 polegada quadrada = $6,452 \times 10^{-4}$	$6,452 \times 10^{-4}$	6,452	$6,944 \times 10^{-3}$	1
1 milha quadrada = $2,788 \times 10^7$ ft <sup>2</sup>			1 acre = 43.560 ft <sup>2</sup>	
= 640 acres			1 hectare = $10^4$ m <sup>2</sup> = 2,471 acres	
1 barn = $10^{-28}$ m <sup>2</sup>				

**VOLUME**

	METRO <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	l	ft <sup>3</sup>	in. <sup>3</sup>
1 METRO CÚBICO =	1	10 <sup>6</sup>	1.000	35,31	6,102 × 10 <sup>4</sup>
1 centímetro cúbico =	10 <sup>-6</sup>	1	1,000 × 10 <sup>-3</sup>	3,531 × 10 <sup>-5</sup>	6,102 × 10 <sup>-2</sup>
1 litro =	1,000 × 10 <sup>-3</sup>	1.000	1	3,531 × 10 <sup>-2</sup>	61,02
1 pé <sup>3</sup> cúbico =	2,832 × 10 <sup>-2</sup>	2,832 × 10 <sup>3</sup>	28,32	1	1.728
1 polegada cúbica =	1,639 × 10 <sup>-5</sup>	16,39	1,639 × 10 <sup>-2</sup>	5,787 × 10 <sup>-4</sup>	1

1 galão americano = 4 quartos americanos = 8 pints americanos = 128 onças americanas = 231 in.<sup>3</sup>1 galão inglês = 277,4 in.<sup>3</sup> = 1,201 galões americanos**MASSA**

As grandezas que estão na área escurecida não são unidades de massa, mas são usadas, muitas vezes, como se fossem. Quando escrevemos, por exemplo, 1 kg “=” 2,205 lb, isto significa que o quilograma é uma *massa* que *pesa* 2,205 libras num local onde g tem o valor padrão 9,80665 m/s<sup>2</sup>.

	g	QUILOGRAMA	slug	u	oz	lb	ton
1 grama =	1	0,001	6,852 × 10 <sup>-5</sup>	6,022 × 10 <sup>23</sup>	3,527 × 10 <sup>-2</sup>	2,205 × 10 <sup>-3</sup>	1,102 × 10 <sup>-6</sup>
1 QUILOGRAMA =	1.000	1	6,852 × 10 <sup>-2</sup>	6,022 × 10 <sup>26</sup>	35,27	2,205	1,102 × 10 <sup>-3</sup>
1 slug =	1,459 × 10 <sup>4</sup>	14,59	1	8,786 × 10 <sup>27</sup>	514,8	32,17	1,609 × 10 <sup>-2</sup>
1 unidade de							
massa atômica =	1,661 × 10 <sup>-24</sup>	1,661 × 10 <sup>-27</sup>	1,138 × 10 <sup>-28</sup>	1	5,857 × 10 <sup>-26</sup>	3,662 × 10 <sup>-27</sup>	1,830 × 10 <sup>-30</sup>
1 onça =	28,35	2,835 × 10 <sup>-2</sup>	1,943 × 10 <sup>-3</sup>	1,718 × 10 <sup>25</sup>	1	6,250 × 10 <sup>-2</sup>	3,125 × 10 <sup>-5</sup>
1 libra =	453,6	0,4536	3,108 × 10 <sup>-2</sup>	2,732 × 10 <sup>26</sup>	16	1	0,0005
1 ton (curta) =	9,072 × 10 <sup>5</sup>	907,2	62,16	5,463 × 10 <sup>29</sup>	3,2 × 10 <sup>4</sup>	2.000	1

1 tonelada métrica = 1.000 kg

**MASSA ESPECÍFICA (DENSIDADE)**

As grandezas na área escurecida são pesos específicos e, portanto, são dimensionalmente diferentes das massas específicas (densidades de massa). Ver a nota na tabela de massa.

	slug/ft <sup>3</sup>	QUILOGRAMA/ METRO <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	lb/ft <sup>3</sup>	lb/in. <sup>3</sup>
1 slug por pé <sup>3</sup> =	1	515,4	0,5154	32,17	1,862 × 10 <sup>-2</sup>
1 QUILOGRAMA					
por METRO <sup>3</sup> =	1,940 × 10 <sup>-3</sup>	1	0,001	6,243 × 10 <sup>-2</sup>	3,613 × 10 <sup>-5</sup>
1 grama por centímetro =	1,940	1.000	1	62,43	3,613 × 10 <sup>-2</sup>
1 libra por pé <sup>3</sup> =	3,108 × 10 <sup>-2</sup>	16,02	1,602 × 10 <sup>-2</sup>	1	5,787 × 10 <sup>-4</sup>
1 libra por polegada <sup>3</sup> =	53,71	2,768 × 10 <sup>4</sup>	27,68	1.728	1

**TEMPO**

	a	d	h	min	SEGUNDO
1 ano =	1	365,25	8,766 × 10 <sup>3</sup>	5,259 × 10 <sup>5</sup>	3,156 × 10 <sup>7</sup>
1 dia =	2,738 × 10 <sup>-3</sup>	1	24	1.440	8,640 × 10 <sup>4</sup>
1 hora =	1,141 × 10 <sup>-4</sup>	4,167 × 10 <sup>-2</sup>	1	60	3.600
1 minuto =	1,901 × 10 <sup>-6</sup>	6,944 × 10 <sup>-4</sup>	1,667 × 10 <sup>-2</sup>	1	60
1 SEGUNDO =	3,169 × 10 <sup>-8</sup>	1,157 × 10 <sup>-5</sup>	2,778 × 10 <sup>-4</sup>	1,667 × 10 <sup>-2</sup>	1

**VELOCIDADE**

	ft/s	km/h	METRO/ SEGUNDO	mi/h	cm/s
1 pé por segundo =	1	1,097	0,3048	0,6818	30,48
1 quilômetro por hora =	0,9113	1	0,2778	0,6214	27,78
1 METRO por SEGUNDO =	3,281	3,6	1	2,237	100
1 milha por hora =	1,467	1,609	0,4470	1	44,70
1 centímetro por segundo =	3,281 × 10 <sup>-2</sup>	3,6 × 10 <sup>-2</sup>	0,01	2,237 × 10 <sup>-2</sup>	1

1 nó = 1 milha náutica por hora = 1,688 ft/s    1 mi/min = 88,00 ft/s = 60,00 mi/h

# FORÇA

As unidades na área sombreada são cada vez menos usadas. Para esclarecer: 1 grama-força (= 1 gf) é a força da gravidade que atua sobre um corpo de massa igual a 1g num local onde  $g$  tem o valor padrão  $9,80665 \text{ m/s}^2$ .

	dina	NEWTON	lb	pdl	gf	kgf
1 dina =	1	$10^{-5}$	$2,248 \times 10^{-6}$	$7,233 \times 10^{-5}$	$1,020 \times 10^{-3}$	$1,020 \times 10^{-6}$
1 NEWTON =	$10^5$	1	0,2248	7,233	102,0	0,1020
1 libra =	$4,448 \times 10^5$	4,448	1	32,17	453,6	0,4536
1 poundal (pdl) =	$1,383 \times 10^4$	0,1383	$3,108 \times 10^{-2}$	1	14,10	$1,410 \times 10^{-2}$
1 grama-força =	980,7	$9,807 \times 10^{-3}$	$2,205 \times 10^{-3}$	$7,093 \times 10^{-2}$	1	0,001
1 quilograma-força =	$9,807 \times 10^5$	9,807	2,205	70,93	1.000	1

# PRESSÃO

	atm	dina/cm <sup>2</sup>	polegada de água	cm Hg	PASCAL	lb/in. <sup>2</sup>	lb/ft <sup>2</sup>
1 atmosfera =	1	$1,013 \times 10^6$	406,8	76	$1,013 \times 10^5$	14,70	2,116
1 dina por centímetro <sup>2</sup> =	$9,869 \times 10^{-7}$	1	$4,015 \times 10^{-4}$	$7,501 \times 10^{-5}$	0,1	$1,405 \times 10^{-5}$	$2,089 \times 10^{-3}$
1 polegada de água a 4°C =	$2,458 \times 10^{-3}$	2,491	1	0,1868	249,1	$3,613 \times 10^{-2}$	5,202
1 centímetro de mercúrio a 0°C =	$1,316 \times 10^{-2}$	$1,333 \times 10^4$	5,353	1	1,333	0,1934	27,85
1 PASCAL =	$9,869 \times 10^{-6}$	10	$4,015 \times 10^{-3}$	$7,501 \times 10^{-4}$	1	$1,450 \times 10^{-4}$	$2,089 \times 10^{-2}$
1 libra por polegada <sup>2</sup> =	$6,805 \times 10^{-2}$	$6,895 \times 10^4$	27,68	5,171	$6,895 \times 10^3$	1	144
1 libra por pé <sup>2</sup> =	$4,725 \times 10^{-4}$	478,8	0,1922	$3,591 \times 10^{-2}$	47,88	$6,944 \times 10^{-3}$	1

\*Num local onde a gravidade  $g$  tenha o valor padrão  $9,80665 \text{ m/s}^2$ .

1 bar =  $10^6 \text{ dina/cm}^2 = 0,1 \text{ MPa}$

1 milibar =  $10^3 \text{ dina/cm}^2 = 10^2 \text{ Pa}$

1 torr = 1 mmHg

# ENERGIA, TRABALHO, CALOR

As grandezas nas áreas sombreadas não são propriamente unidades de energia, mas aparecem no quadro por serem convenientes. Aparecem em virtude da fórmula relativística de equivalência entre massa e energia,  $E = mc^2$ , e representam a energia liberada se um quilograma de massa, ou se uma unidade unificada de massa atômica (u), for completamente transformado em energia (nas duas filas de baixo), ou a massa que seria completamente transformada em uma unidade de energia (nas duas colunas da direita).

	Btu	erg	ft · lb	hp · h	JOULE	cal	kW · h	eV	MeV	kg	u
1 unidade térmica britânica (Btu) =	1	$1,055 \times 10^{10}$	777,9	$3,929 \times 10^{-4}$	1,055	252,0	$2,930 \times 10^{-4}$	$6,585 \times 10^{21}$	$6,585 \times 10^{15}$	$1,174 \times 10^{-14}$	$7,070 \times 10^{12}$
1 erg =	$9,481 \times 10^{-11}$	1	$7,376 \times 10^{-8}$	$3,725 \times 10^{-14}$	$10^{-7}$	$2,389 \times 10^{-8}$	$2,778 \times 10^{-14}$	$6,242 \times 10^{11}$	$6,242 \times 10^5$	$1,113 \times 10^{-24}$	670,2
1 pé-libra =	$1,285 \times 10^{-3}$	$1,356 \times 10^7$	1	$5,051 \times 10^{-7}$	1,356	0,3238	$3,766 \times 10^{-7}$	$8,464 \times 10^{18}$	$8,464 \times 10^{12}$	$1,509 \times 10^{-17}$	$9,037 \times 10^9$
1 hp-hora =	2,545	$2,685 \times 10^{13}$	1,980	1	$2,685 \times 10^6$	$6,413 \times 10^5$	0,7457	$1,676 \times 10^{25}$	$1,676 \times 10^{19}$	$2,988 \times 10^{-11}$	$1,799 \times 10^{16}$
1 JOULE =	$9,481 \times 10^{-4}$	$10^7$	0,7376	$3,725 \times 10^{-7}$	1	0,2389	$2,778 \times 10^{-7}$	$6,242 \times 10^{18}$	$6,242 \times 10^{12}$	$1,113 \times 10^{-17}$	$6,702 \times 10^9$
1 caloria =	$3,969 \times 10^{-3}$	$4,186 \times 10^7$	3,088	$1,560 \times 10^{-6}$	4,186	1	$1,163 \times 10^{-6}$	$2,613 \times 10^{19}$	$2,613 \times 10^{13}$	$4,660 \times 10^{-17}$	$2,806 \times 10^{10}$
1 quilowatt-hora =	3,413	$3,600 \times 10^{13}$	2,655	1,341	$3,600 \times 10^6$	$8,600 \times 10^5$	1	$2,247 \times 10^{25}$	$2,247 \times 10^{19}$	$4,007 \times 10^{-11}$	$2,413 \times 10^{16}$
1 elétron-volt =	$1,519 \times 10^{-22}$	$1,602 \times 10^{-12}$	$1,182 \times 10^{-19}$	$5,967 \times 10^{-26}$	$1,602 \times 10^{-19}$	$3,827 \times 10^{-20}$	$4,450 \times 10^{-26}$	1	$10^{-6}$	$1,783 \times 10^{-36}$	$1,074 \times 10^{-9}$
1 milhão de elétrons-volt =	$1,519 \times 10^{-16}$	$1,602 \times 10^{-6}$	$1,182 \times 10^{-13}$	$5,967 \times 10^{-20}$	$1,602 \times 10^{-13}$	$3,827 \times 10^{-14}$	$4,450 \times 10^{-20}$	$10^{-6}$	1	$1,783 \times 10^{-30}$	$1,074 \times 10^{-3}$
1 quilograma =	$8,521 \times 10^{13}$	$8,987 \times 10^{23}$	$6,629 \times 10^{16}$	$3,348 \times 10^{10}$	$8,987 \times 10^{16}$	$2,146 \times 10^{16}$	$2,497 \times 10^{10}$	$5,610 \times 10^{35}$	$5,610 \times 10^{29}$	1	$6,022 \times 10^{26}$
1 unidade unificada de massa atômica =	$1,415 \times 10^{-13}$	$1,492 \times 10^{-3}$	$1,101 \times 10^{-10}$	$5,559 \times 10^{-17}$	$1,492 \times 10^{-10}$	$3,564 \times 10^{-11}$	$4,146 \times 10^{-17}$	$9,320 \times 10^8$	932,0	$1,661 \times 10^{-27}$	1

**POTÊNCIA**

	Btu/h	ft-lb/s	hp	cal/s	kW	WATT
1 unidade térmica britânica por hora	= 1	0,2161	$3,929 \times 10^{-4}$	$6,998 \times 10^{-2}$	$2,930 \times 10^{-4}$	0,2930
1 pé-libra por segundo	= 4,628	1	$1,818 \times 10^{-3}$	0,3239	$1,356 \times 10^{-3}$	1,356
1 hp	= 2,545	550	1	178,1	0,7457	745,7
1 caloria por segundo	= 14,29	3,088	$5,615 \times 10^{-3}$	1	$4,186 \times 10^{-3}$	4,186
1 quilowatt	= 3,413	737,6	1,341	238,9	1	1.000
1 WATT	= 3,413	0,7376	$1,341 \times 10^{-3}$	0,2389	0,001	1

**FLUXO MAGNÉTICO**

	maxwell	WEBER
1 maxwell	= 1	$10^{-8}$
1 WEBER	= $10^8$	1

**CAMPO MAGNÉTICO**

	gauss	TESLA	miligauss
1 gauss	= 1	$10^{-4}$	1.000
1 TESLA	= $10^4$	1	$10^7$
1 miligauss	= 0,001	$10^{-7}$	1

1 tesla = 1 weber/metro<sup>2</sup>

## APÊNDICE G

# FÓRMULAS MATEMÁTICAS

## GEOMETRIA

Círculo de raio  $r$ : circunferência  $= 2\pi r$ ; área  $= \pi r^2$ .

Esfera de raio  $r$ : área  $= 4\pi r^2$ ; volume  $= 4\pi r^3/3$ .

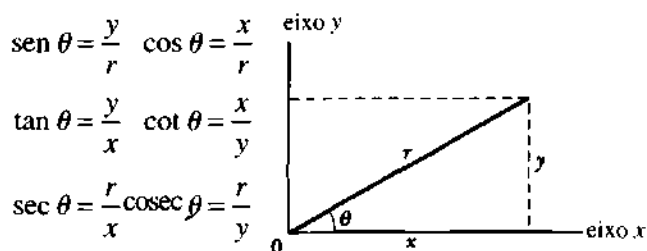
Cilindro circular reto com raio da base  $r$  e altura  $h$ :  
área  $= 2\pi r^2 + 2\pi rh$ ; volume  $= \pi r^2 h$

Triângulo de base  $a$  e altura  $h$ : área  $= ah/2$ .

## EQUAÇÃO DO SEGUNDO GRAU

Se  $ax^2 + bx + c = 0$ , então  $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ .

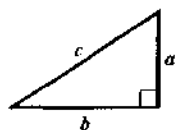
## FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS DO ÂNGULO $\theta$



## TEOREMA DE PITÁGORAS

Neste triângulo retângulo,

$$a^2 + b^2 = c^2$$



## TRIÂNGULOS

Os ângulos são  $A$ ,  $B$  e  $C$

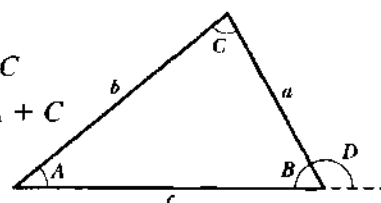
Os lados opostos são  $a$ ,  $b$  e  $c$

A soma dos ângulos  $A + B + C = 180^\circ$

$$\frac{\text{sen } A}{a} = \frac{\text{sen } B}{b} = \frac{\text{sen } C}{c}$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

O ângulo externo  $D = A + C$



## SINAIS E SÍMBOLOS MATEMÁTICOS

$=$  igual a

$\approx$  aproximadamente igual a

$\sim$  da ordem de grandeza de

$\neq$  diferente de

$\equiv$  idêntico a, definido como

$>$  maior que ( $\gg$  muito maior que)

$<$  menor que ( $\ll$  muito menor que)

$\geq$  maior que ou igual a (não menor que)

$\leq$  menor que ou igual a (não maior que)

$\pm$  mais ou menos

$\propto$  proporcional a

$\Sigma$  soma de (somatório de)

$\bar{x}$  valor médio de  $x$

## IDENTIDADES TRIGONOMÉTRICAS

$$\text{sen } (90^\circ - \theta) = \text{cos } \theta$$

$$\text{cos } (90^\circ - \theta) = \text{sen } \theta$$

$$\text{sen } \theta / \text{cos } \theta = \text{tan } \theta$$

$$\text{sen}^2 \theta + \text{cos}^2 \theta = 1$$

$$\text{sec}^2 \theta - \text{tan}^2 \theta = 1$$

$$\text{cosec}^2 \theta - \text{cot}^2 \theta = 1$$

$$\text{sen } 2\theta = 2 \text{sen } \theta \text{ cos } \theta$$

$$\text{cos } 2\theta = \text{cos}^2 \theta - \text{sen}^2 \theta = 2 \text{cos}^2 \theta - 1 = 1 - 2 \text{sen}^2 \theta$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$$

$$\tan(\alpha \pm \beta) = \frac{\tan \alpha \pm \tan \beta}{1 \mp \tan \alpha \tan \beta}$$

$$\sin \alpha \pm \sin \beta = 2 \sin \frac{1}{2}(\alpha \pm \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha \mp \beta)$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \sin \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

### BINÔMIO DE NEWTON

$$(1 \pm x)^n = 1 \pm \frac{nx}{1!} + \frac{n(n-1)x^2}{2!} + \dots \quad (x^2 < 1)$$

$$(1 \pm x)^{-n} = 1 \mp \frac{nx}{1!} + \frac{n(n+1)x^2}{2!} + \dots \quad (x^2 < 1)$$

### EXPANSÃO DA EXPONENCIAL

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$

### EXPANSÃO DO LOGARITMO NEPERIANO

$$\ln(1+x) = x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{3}x^3 - \dots \quad (|x| < 1)$$

### EXPANSÃO DAS FUNÇÕES TRIGONOMÉTRICAS ( $\theta$ em radianos)

$$\sin \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \dots$$

$$\cos \theta = 1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} - \dots$$

$$\tan \theta = \theta + \frac{\theta^3}{3} + \frac{2\theta^5}{15} + \dots$$

### PRODUTOS DE VETORES

Sejam  $\mathbf{i}$ ,  $\mathbf{j}$  e  $\mathbf{k}$  os vetores unitários nas direções  $x$ ,  $y$  e  $z$ .  
Então

$$\mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{k} = 1, \quad \mathbf{i} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{k} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{i} = 0,$$

$$\mathbf{i} \times \mathbf{i} = \mathbf{j} \times \mathbf{j} = \mathbf{k} \times \mathbf{k} = 0,$$

$$\mathbf{i} \times \mathbf{j} = \mathbf{k}, \quad \mathbf{j} \times \mathbf{k} = \mathbf{i}, \quad \mathbf{k} \times \mathbf{i} = \mathbf{j}.$$

Qualquer vetor  $\mathbf{a}$  com as componentes  $a_x$ ,  $a_y$  e  $a_z$ , sobre os eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ , pode ser escrito como

$$\mathbf{a} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k}.$$

Sejam  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$  e  $\mathbf{c}$  três vetores arbitrários com os módulos  $a$ ,  $b$  e  $c$ . Então

$$\mathbf{a} \times (\mathbf{b} + \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \times \mathbf{b}) + (\mathbf{a} \times \mathbf{c})$$

$$(s\mathbf{a}) \times \mathbf{b} = \mathbf{a} \times (s\mathbf{b}) = s(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \quad (s = \text{um escalar})$$

Seja  $\theta$  o menor dos dois ângulos formados por  $\mathbf{a}$  e  $\mathbf{b}$ .  
Então

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{b} \cdot \mathbf{a} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z = ab \cos \theta$$

$$\mathbf{a} \times \mathbf{b} = -\mathbf{b} \times \mathbf{a} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}$$

$$= (a_y b_z - b_y a_z) \mathbf{i} + (a_z b_x - b_z a_x) \mathbf{j} + (a_x b_y - b_x a_y) \mathbf{k}$$

$$|\mathbf{a} \times \mathbf{b}| = ab \sin \theta$$

$$\mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} \times \mathbf{c}) = \mathbf{b} \cdot (\mathbf{c} \times \mathbf{a}) = \mathbf{c} \cdot (\mathbf{a} \times \mathbf{b})$$

$$\mathbf{a} \times (\mathbf{b} \times \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{c}) \mathbf{b} - (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}) \mathbf{c}$$

## DERIVADAS E INTEGRAIS

Nas tabelas seguintes,  $u$  e  $v$  são funções quaisquer de  $x$ , e  $a$  e  $m$  são constantes. A cada integral indefinida deve ser adicionada uma constante de integração arbitrária.

Encontram-se tabelas muito mais extensas, em especial no *Handbook of Chemistry and Physics* (CRC Press Inc.).

- |  |   |
|--|---|
| 1. $\frac{dx}{dx} = 1$   | 1. $\int dx = x$  |
| 2. $\frac{d}{dx}(au) = a \frac{du}{dx}$                                    | 2. $\int au \, dx = a \int u \, dx$   |
| 3. $\frac{d}{dx}(u+v) = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dx}$                     | 3. $\int (u+v) \, dx = \int u \, dx + \int v \, dx$   |
| 4. $\frac{d}{dx} x^m = mx^{m-1}$   | 4. $\int x^m \, dx = \frac{x^{m+1}}{m+1} \quad (m \neq -1)$   |
| 5. $\frac{d}{dx} \ln x = \frac{1}{x}$                                      | 5. $\int \frac{dx}{x} = \ln  x $  |
| 6. $\frac{d}{dx}(uv) = u \frac{dv}{dx} + v \frac{du}{dx}$                  | 6. $\int u \frac{dv}{dx} \, dx = uv - \int v \frac{du}{dx} \, dx$   |
| 7. $\frac{d}{dx} e^x = e^x$  | 7. $\int e^x \, dx = e^x$   |
| 8. $\frac{d}{dx} \sin x = \cos x$  | 8. $\int \sin x \, dx = -\cos x$  |
| 9. $\frac{d}{dx} \cos x = -\sin x$   | 9. $\int \cos x \, dx = \sin x$   |
| 10. $\frac{d}{dx} \tan x = \sec^2 x$                                       | 10. $\int \tan x \, dx = \ln  \sec x $  |
| 11. $\frac{d}{dx} \cot x = -\operatorname{cosec}^2 x$                      | 11. $\int \sin^2 x \, dx = \frac{1}{2}x - \frac{1}{4}\sin 2x$   |
| 12. $\frac{d}{dx} \sec x = \tan x \sec x$                                  | 12. $\int e^{-ax} \, dx = -\frac{1}{a}e^{-ax}$  |
| 13. $\frac{d}{dx} \operatorname{cosec} x = -\cot x \operatorname{cosec} x$ | 13. $\int xe^{-ax} \, dx = -\frac{1}{a^2}(ax+1)e^{-ax}$   |
| 14. $\frac{d}{dx} e^u = e^u \frac{du}{dx}$                                 | 14. $\int x^2 e^{-ax} \, dx = -\frac{1}{a^3}(a^2x^2 + 2ax + 2)e^{-ax}$  |
| 15. $\frac{d}{dx} \sin u = \cos u \frac{du}{dx}$                           | 15. $\int_0^\infty x^n e^{-ax} \, dx = \frac{n!}{a^{n+1}}$  |
| 16. $\frac{d}{dx} \cos u = -\sin u \frac{du}{dx}$                          | 16. $\int_0^\infty x^{2n} e^{-ax^2} \, dx = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdots (2n-1)}{2^{n+1} a^n} \sqrt{\frac{\pi}{a}}$ |
|  | 17. $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \ln(x + \sqrt{x^2 + a^2})$  |

# RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

## Capítulo 1

3. (a) 186 mi. (b)  $3,0 \times 10^6$  mm. 5. (a)  $10^9$ .  
(b)  $10^{-1}$ . (c)  $9,1 \times 10^4$ . 7. 32,2 km. 9.  $0,020 \text{ km}^3$ .  
11. (a)  $250 \text{ ft}^2$ . (b)  $23,3 \text{ m}^2$ . (c)  $3,060 \text{ ft}^3$ .  
(d)  $86,6 \text{ m}^3$ . 13.  $8 \times 10^2 \text{ km}$ . 15. (a)  $11 \text{ m}^2/\text{L}$ .  
(b)  $1,13 \times 10^4 \text{ m}^{-1}$ . (c)  $2,17 \times 10^{-3} \text{ gal/ft}^2$ .  
17. (a)  $d_{\text{Sol}}/d_{\text{Lun}} = 400$ . (b)  $V_{\text{Sol}}/V_{\text{Lun}} = 6,4 \times 10^7$ .  
(c)  $3,5 \times 10^3 \text{ km}$ . 19. (a) 31 m. (b) 21 m.  
(c) No lago Ontario. 21. 52,6 min; 5,2%. 23. 720 dias.  
25. (a) Sim. (b) 8,6 s. 27. 0,12 UA/min. 29. 1,0 m.  
31. 2 h. 33.  $6,0 \times 10^{26}$ . 35.  $9,0 \times 10^{19}$ .  
37. (a)  $10^3 \text{ km/m}^3$ . (b) 158 kg/s. 39. 0,260 kg.

## Capítulo 2

1. (a) Lewis: 10,0 m/s; Rodgers: 5,41 m/s.  
(b) 1 h 10 min. 3. 94 m. 5. 2 cm/a.  
7.  $6,71 \times 10^8 \text{ mi/h}$ ,  $9,84 \times 10^8 \text{ ft/s}$ , 1,00 al/a.  
9. (a) 1,7 m/s. (b) 2,1 m/s.  
11. (a) 45 mi/h (72 km/h). (b) 69 km/h.  
(c) (71 km/h). (d) 0. 13. (a) 28,5 cm/s.  
(b) 18,0 cm/s. (c) 40,5 cm/s. (d) 28,1 m/s.  
(e) 30,3 cm/s. 15. (a) Matematicamente, um número infinito. (b) 60 km. 17. (a)  $4 \text{ s} > t > 2 \text{ s}$ .  
(b)  $3 \text{ s} > t > 0$ . (c)  $6 \text{ s} > t > 3 \text{ s}$ . (d)  $t = 3 \text{ s}$ .  
19. 100 m. 21. (a)  $20 \text{ m/s}^2$ , no sentido oposto ao da velocidade inicial. 23. (a) Os sinais de  $v$  e  $a$  são: OA: +, 0; AB: +, -; BC: 0, 0; CD: -, +. (b) Não.  
(c) Não. 27. (a) Não. (b)  $\text{m}^2/\text{s}^2$ ;  $\text{m/s}^2$ .  
29. (a)  $t = 1,2 \text{ s}$ . (b)  $t = 0$ . (c)  $t > 0$ ,  $t < 0$ .  
31. (a)  $\bar{v} = 14 \text{ m/s}$ ,  $\bar{a} = 18 \text{ m/s}^2$ .  
(b)  $a(2) = 24 \text{ m/s}$ ,  $a(1) = 6 \text{ m/s}$ ,  $a(2) = 24 \text{ m/s}^2$ ,  
 $a(1) = 12 \text{ m/s}^2$ . 33. (a)  $L/T^2$ ,  $\text{m/s}^2$ ;  $L/T^3$ ,  $\text{m/s}^3$ .  
(b) 2,0 s. (c) 7,2 m. (d) -4,8 m.  
(e) 3, 0, -9, -7,2 m/s. (f) 0, -6, -12, -5,4 m/s<sup>2</sup>.  
35. (a) 1,6 m/s. (b) 18 m/s. 37. (a)  $3,1 \times 10^6 \text{ s}$ .  
(b)  $4,6 \times 10^{13} \text{ m}$ . 39. (a) 0,10 m.  
41. (a)  $8,3 \text{ m/s}^2$ ; 0,85 g. (b) 3,2 s;  $\approx 8T$ .  
43. (a) 5,00 s. (b) 61,5 m. 45. (a) 2,6 s.  
47. (a)  $5,0 \text{ m/s}^2$ . (b) 4,0 m. (c) 6,0 s. (d) 90 m.  
49. (a) 5,00 m/s. (b) 1,67 m/s<sup>2</sup>. (c) 7,50 m.  
51. (a) 0,74 s. (b) 6,5 m/s<sup>2</sup>. 53. (a) 32,9 m/s.  
(b) 49,1 s. (c) 11,7 m/s. 55. (a) 10,4 m. (b) 41,6 s.  
57. Sim. 59. (a) 29,4 m. (b) 2,45 s. 61. 183 m/s.  
63. (a) 1,54 s. (b) 27,1 m/s. 67. (a) 3,70 m/s.  
(b) 1,74 m/s. (c) 0,154 m. 69. 4,0 m/s.  
73. (a)  $v = (v_0^2 + 2gh)^{1/2}$ , para baixo.  
(b)  $t = [(v_0^2 + 2gh)^{1/2} - v_0]/g$ .  
(c) mesmo;  $t = [(v_0^2 + 2gh)^{1/2} - v_0]/g$ , maior. 75. Quatro vezes mais alto. 77.  $1,650 \text{ m/s}^2$ , para cima. 79. (a) 38,1 m.  
(b) 9,02 m/s. (c) 14,5 m/s, para cima. 81. 96g. 83. (a) 17 s.  
(b) 290 m. 85.  $\approx 0,3 \text{ s}$ . 87. (a) 76 m acima do solo. (b) 4,1 s. 89. 2,34 m.

## Capítulo 3

1. Os deslocamentos devem ser (a) paralelos,  
(b) antiparalelos. (c) perpendiculares.  
3. (a) 370 m,  $36^\circ$  ao norte do leste.  
(b) Módulo do deslocamento: 370 m; distância percorrida: 425 m. 5. 81 km,  $40^\circ$  ao norte do leste.  
7. (a) 38 unidades,  $320^\circ$ . (b) 130 unidades,  $1,2^\circ$ .  
(c) 62 unidades,  $130^\circ$ . 9.  $a_x = -2,5$ ;  $a_y = -6,9$ .  
11.  $r = 13 \text{ m}$ ;  $r = 7,5 \text{ m}$ .  
13. (a) 14 cm, a  $45^\circ$  à esquerda da vertical orientada para baixo.  
(b) 20 cm, para cima. (c) zero. 15. 4,74 km.  
17. 168 cm,  $32,5^\circ$  acima do piso. 19. (a) 7,1 m.  
(b) Não; sim; sim. (c)  $14\mathbf{i} + 12\mathbf{j} + 10\mathbf{k}$  é uma das respostas possíveis.  
(d) 8,6 m. 21.  $r_x = 12$ ,  $r_y = -5,8$ ,  $r_z = -2,8$ .  
23. (a)  $8\mathbf{i} + 2\mathbf{j}$ , 8,2,  $14^\circ$ .  
(b)  $2\mathbf{i} - 6\mathbf{j}$ , 6,3,  $-72^\circ$  em relação a  $\mathbf{i}$ . 25. (a) 5,0,  $-37^\circ$ .  
(b) 10,  $53^\circ$ . (c) 11,  $27^\circ$ . (d) 11,  $80^\circ$ .  
(e) 11,  $260^\circ$ . Os ângulos são em relação a  $+x$ . Os últimos dois vetores têm a mesma direção e sentidos opostos.  
27. (a)  $r = 1,59$ ,  $r_x = 12,1$ . (b) 12,2. (c)  $82,5^\circ$ .  
29. 1,130 m, na horizontal.  
31. (a) -2,83 m, -2,83 m; +5,00 m, 0 m; 3,00 m, 5,20 m.  
(b) 5,17 m, 2,37 m. (c) 5,69 m,  $24,6^\circ$  ao norte do leste.  
(d) 5,69 m,  $24,6^\circ$  ao sul de oeste. 35. (b) 11,200 km.  
37. (a) 10 m, norte. (b) 7,5 m, sul. 39. Não.  
43. (a) 30. (b) 52. 45. (a) 0. (b) -16. (c) -9.  
49. (a)  $11\mathbf{i} + 5\mathbf{j} - 7\mathbf{k}$ . (b)  $120^\circ$ . 51. (a)  $2\mathbf{k}$ . (b) 26.  
(c) 46. 53. (a) 2,97. (b)  $1,51\mathbf{i} + 2,67\mathbf{j} - 1,36\mathbf{k}$ .  
(c) 48. 55.  $70,5^\circ$ . 57. (b)  $a^2b \sin \phi$ .

## Capítulo 4

1. (a)  $-(5,0 \text{ m})\mathbf{i} + (8,0 \text{ m})\mathbf{j}$ . (b) 9,4 m,  $122^\circ$  de  $+x$ .  
3. (a)  $-(7,0 \text{ m})\mathbf{i} + (12 \text{ m})\mathbf{j}$ . (b) plano  $xy$ .  
5. (a) 1,080 km,  $63,4^\circ$  sudeste. (b) 479 km/h,  $63,4^\circ$  sudeste; deve ser o mesmo ângulo do item (a).  
(c) 644 km/h. 7. (a) 6,79 km/h. (b)  $6,96^\circ$ .  
9. (a)  $(3 \text{ m/s})\mathbf{i} - (8 \text{ m/s})\mathbf{j}$ . (b)  $(3 \text{ m/s})\mathbf{i} - (16 \text{ m/s})\mathbf{j}$ .  
(c) 16 m/s,  $-79^\circ$  até  $+x$ . 11. (a)  $8\mathbf{j} + \mathbf{k}$ . (b)  $8\mathbf{j}$ .  
13.  $-(2,10 \text{ m/s}^2)\mathbf{i} + (2,81 \text{ m/s}^2)\mathbf{j}$ .  
15. (a)  $-(1,5 \text{ m/s})\mathbf{j}$ . (b)  $(4,5 \text{ m})\mathbf{i} - (2,25 \text{ m})\mathbf{j}$ .  
17. (a) 18 cm. (b) 1,9 m. 19. (a)  $5,4 \times 10^{-11} \text{ m}$ .  
(b) Diminui. 21. (a) 0,50 s. (b) 3 m/s.  
23. (a) 0,21 s; 0,21 s. (b) 20,6 cm. (c) 61 cm.  
25. (a) 16,9 m; 8,21 m. (b) 27,6 m; 7,26 m.  
(c) 40,2 m; 0. 27. (a) 1,15 s. (b) 12,0 m.  
(c) 19,2 m/s; 4,80 m/s. (d) Não. 29. (b)  $27^\circ$ .  
31. (a) 194 m/s. (b)  $38^\circ$ . 33. 4,8 cm.  
35. Não-acidental; velocidade de lançamento horizontal é cerca de 20% da marca mundial de velocidade de arrancada. 37. (a) 11 m. (b) 23 m.  
(c) 17 m/s,  $63^\circ$  abaixo da horizontal. 39. (a) 22 m.  
(b)  $7,6^\circ$ . (c) 1,0 s. 41. 7 m/s.



43. Aproximadamente 40 m.  
 45. 30 m acima do ponto de lançamento. 47. O terceiro.  
 49. (a) 61 m/s. (b) 806 m. (c) 161 m/s; -171 m/s.  
 51. 78,5°. 53. 25 m.  
 55. Entre os ângulos 31° e 63° acima da horizontal.  
 57. (a) 310 s. (b) 105 km. (c) 139 km.  
 59. (a) 4,0 m/s². (b) Em direção ao centro do círculo.  
 61. (a) 22 m. (b) 15 s. 63. (a)  $4,6 \times 10^{12}$  m.  
 (b) 2,8 d. 65. (a) 7,3 km. (b) menor que 80 km/h.  
 67. (a) 19 m/s. (b) 35 rev/min. 69. (a) 0,034 m/s².  
 (b) 84 min. 71. (a) 4,2 m, 45°, 5,5 m, 68°, 6,0 m, 90°.  
 (b) 4,2 m, 135°. (c) 0,85 m/s, 135°.  
 (d) 0,94 m/s, 90°, 0,94 m/s, 180°. (e) 0,30 m/s², 180°;  
 0,30 m/s², 270°. Ângulos medidos a partir de +x  
 no sentido anti-horário. 73. (a) 5 km/h, rio acima.  
 (b) 1 km/h, rio abaixo.  
 75. O vento sopra de oeste a 85,3 km/h. 77. 48 s.  
 79. (a) (80 km/h)i - (60 km/h)j.  
 (b) v ocorre ao longo da linha de visada.  
 (c) As respostas não mudam. 81. (0,96 m/s)j.  
 83. 80 m/s. 85. 185 km/h, 22° sudeste.  
 87. 87° a partir da direção do movimento do carro.  
 89. (a) 47° nordeste. (b) 6 min 35 s. 91. 0,83c.

### Capítulo 5

1. (a)  $F_1 = 1,88$  N,  $F_2 = 0,684$  N.  
 (b)  $(1,88 \text{ N})\mathbf{i} + (0,684 \text{ N})\mathbf{j}$ .  
 3. (a) - (6,26 N)i - (3,23 N)j.  
 (b) 7,0 N, 207° em relação a +x.  
 5.  $(3 \text{ N})\mathbf{i} + (-11 \text{ N})\mathbf{j} + (4 \text{ N})\mathbf{k}$ .  
 7. (a)  $(-32 \text{ N})\mathbf{i} + (-21 \text{ N})\mathbf{j}$ . (b) 38 N, 213° a partir de +x.  
 9. (a)  $(0,86 \text{ m/s}^2)\mathbf{i} + (-0,16 \text{ m/s}^2)\mathbf{j}$ .  
 (b)  $0,88 \text{ m/s}^2$ , -11° em relação a +x.  
 11. (a) Massa = 630 kg; peso = 636 kgf.  
 (b) Massa = 421 kg; peso = 4.100 N. 13. (a) 740 N.  
 (b) 290 N. (c) Zero. (d) 75 kg em cada local.  
 15. (a) 147 N, para baixo. (b) 147 N, para cima.  
 (c) 147 N. 17. (a) 54 N. (b) 152 N. 19.  $1,18 \times 10^4$  N.  
 21.  $1,2 \times 10^5$  N. 23. 16 N. 25.  $8,0 \text{ cm/s}^2$ .  
 27. (a) A massa de 4 kg. (b)  $6,5 \text{ m/s}^2$ . (c) 13 N.  
 29.  $1,2 \times 10^6$  N. 31. 307 N. 33. 1,5 mm.  
 35.  $10 \text{ m/s}^2$ . 37. (a) 489 N, para cima. (b) 489 N, para baixo.  
 39. (a)  $0,62 \text{ m/s}^2$ . (b)  $0,13 \text{ m/s}^2$ . (c) 2,6 m.  
 41. (a)  $0,74 \text{ m/s}^2$ . (b)  $7,3 \text{ m/s}^2$ .  
 43. (a)  $5\mathbf{i} + 4,3\mathbf{j}$ , m/s. (b)  $15\mathbf{i} + 6,4\mathbf{j}$ , m.  
 45. (a) 65 N. (b) 49 N. 47. (a) 220 kN. (b) 50 kN.  
 49. (a)  $0,970 \text{ m/s}^2$ . (b)  $T_1 = 11,6$  N,  $T_2 = 34,9$  N.  
 51. (a) 31,24 kN. (b) 24,3 kN. 53. (a) 5,1 m/s.  
 55. (a) 3,260 N. (b)  $2,7 \times 10^4$  kg. (c) -1,2 m/s².  
 57. (a) 1,23; 2,46; 3,69; 4,92. N. (b) 6,15 N. (c) 0,25 N.  
 59. (a) Fazendo com que a aceleração de descida tenha módulo  $\geq 1,3$   
 m/s². (b) 3,9 m/s ou mais.  
 61. (a) 7,3 kg. (b) 89 N. 63. (a)  $4,9 \text{ m/s}^2$ .  
 (b)  $2,0 \text{ m/s}^2$ , para cima. (c) 120 N. 65. (a)  $120 \text{ m/s}^2$ .  
 (b) 12g. (c)  $1,4 \times 10^8$  N. (d) 4,2 anos.  
 67. (a)  $2,18 \text{ m/s}^2$ . (b) 116 N. (c)  $21,0 \text{ m/s}^2$ .  
 69.  $4,6 \text{ m/s}^2$ . (b)  $2,6 \text{ m/s}^2$ . 71. (a) 9,4 km.  
 (b) 61 km. 73. (a) -466 N. (b) -527 N.  
 (c) -931 N, -1.050 N.  
 (d) Nos dois primeiros casos: -931 N. Terceiro caso: -1.860 N. Quarto  
 caso: -1.980 N.

### Capítulo 6

1. (a) 200 N. (b) 120 N. 3. (a) 110 N. (b) 130 N.  
 (c) Não. (d) 46 N. (e) 17 N. 5. (a) (i) 245 N, 100 N.  
 (ii) 195 N, 86,6 N. (iii) 158 N, 50,0 N.  
 (b) (i) Permanece parada. (ii) Desliza. (iii) Permanece parada. 7.  $9,3 \text{ m/s}^2$ .  
 9. (a) 90 N. (b) 70 N. (c)  $0,89 \text{ m/s}^2$ . 11. (a) Não.

- (b)  $(12 \text{ N})\mathbf{i} + (5 \text{ N})\mathbf{j}$ . 13. 20°. 15. (a) 0,13 N.  
 (b) 0,12. 19. (a) 56 N. (b) 59 N. (c) 1.100 N.  
 21. (a)  $v_0^2/(4g \sin \theta)$ . (b) Não. 23. 0,53.  
 25. (a) 11 N, em direção à direita. (b)  $0,14 \text{ m/s}^2$ .  
 27. (a)  $2,0 \text{ m/s}^2$ , descendo o plano. (b) 4,0 m.  
 (c) Fica lá. 29. (a) 8,6 N. (b) 46 N. (c) 39 N.  
 31. (a) Zero. (b)  $3,9 \text{ m/s}^2$  para baixo.  
 (c)  $1,0 \text{ m/s}^2$  para baixo. 33. (a) 13 N.  
 (b)  $1,6 \text{ m/s}^2$ . 35. (a) 1,05 N, tensionado.  
 (b)  $3,62 \text{ m/s}^2$  descendo o plano.  
 (c) As respostas seriam as mesmas, exceto que o bastão estaria sob com-  
 pressão.  
 37. (a)  $6,1 \text{ m/s}^2$ , para a direita. (b)  $0,98 \text{ m/s}^2$ , para a direita.  
 39.  $g (\sin \theta - \sqrt{2} \mu_k \cos \theta)$ . 41. (a) 19° (b) 3.300 N.  
 43. 6.200 N. 45. 2,3. 47. 10 m/s. 49. 20,7 m.  
 51. (a) 11°. (b) 0,19. 53. (a) 0,96 m/s. (b) 0,021.  
 55. (a)  $2,2 \times 10^6$  m/s.  
 (b)  $9,1 \times 10^{22} \text{ m/s}^2$ , apontando para o núcleo.  
 (c)  $8,3 \times 10^{-8}$  N. 57. 178 km/h. 59. 0,12, 0,23.  
 61. 874 N. 63.  $\sqrt{gR}$ . 65. 1,52 km.  
 67. (a)  $5,1 \text{ m/s}^2$ , radialmente para dentro. (b) 4,8 N. (c) 10 N.  
 69. (a) 0,0338 N. (b) 9,77 N. 71. (a) 5,8°. (b) Zero.  
 (c) Zero.

### Capítulo 7

1. (a)  $3,7 \times 10^7$  J. (b) 200 J. 3. (a) 314 J.  
 (b) -155 J. (c) Zero. (d) 158 J. 5. (a) 230 N.  
 (b) -400 J. (c) 400 J. (d) Zero. (e) Zero.  
 7. (a)  $c = 4$  m. (b)  $c < 4$  m. (c)  $c > 4$  m.  
 9. (a) 215 N. (b) 10.100 J. (c) 48 m.  
 (d) 10.300 J. 11. (a) 2.200 J. (b) -1.500 J.  
 13. 25 J. 17. -6 J. 19. 1.250 J. 21.  $1,8 \times 10^{13}$  J.  
 23. (a) 3.610 J. (b) 1.900 J. (c)  $1,1 \times 10^{10}$  J.  
 25. 47 keV. 27. 7,9 J. 29. (a) 48 km/h.  
 (b)  $9,0 \times 10^4$  J. 31. (a)  $1 \times 10^5$  megatons de TNT.  
 (b)  $1 \times 10^7$  bombas. 33. 530 J. 35. (a)  $1,2 \times 10^4$  J.  
 (b)  $-1,1 \times 10^4$  J. (c) 1.100 J. (d) 5,4 m/s.  
 37. (a) 797 N. (b) Zero. (c) -1.550 J. (d) Zero.  
 (e) 1.550 J. (f) Porque a força  $F$  não é constante.  
 39. 270 kW. 41. 235 kW. 43. 17 kW.  
 45. (a)  $2,6 \times 10^5$  J. (b) 0,58 hp.  
 47. (a) 0,83; 2,5; 4,2 J. (b) 5,0 W. 49. 90 hp.  
 51. (a) 79,37 keV. (b) 3,12 MeV. (c) 10,9 MeV.

### Capítulo 8

1. 89 N/cm. 3. (a) 200 J. (b) 170 J. (c) 13 m/s.  
 5. (a)  $4,0 \times 10^4$  J. (b)  $4,0 \times 10^4$  J. 7. (a)  $v_0$ .  
 (b)  $\sqrt{v_0^2 + gh}$ . (c)  $\sqrt{v_0^2 + 2gh}$ . (d)  $(v_0^2/2g) + h$ .  
 9. 56 m/s. 11. (a) 7,84 N/cm. (b) 62,7 J.  
 (c) 80,0 cm. 13. (a)  $mgL$ . (b)  $\sqrt{2gL}$ . 15. (a) 2,8 m/s.  
 (b) 2,7 m/s. 17. (a) 35 cm. (b) 1,7 m/s.  
 19. (a) 1,2 J. (b) 11 m/s. (c) Não. (d) Não.  
 21. (a) 25 kJ. (b) 7,8 kJ. (c) 160 m. 23. (a) 4,8 m/s.  
 (b) 2,4 m/s. 25. 10 cm. 27. 1,25 cm. 29. (a) 19 J.  
 (b) 6,4 m/s. (c) 11 J, 6,4 m/s.  
 31. Sim, mas por pouco.  
 33. (a)  $2\sqrt{gL}$ . (b)  $5mg$ . (c) 71°. 35.  $mgL/32$ .  
 39. (a)  $1,12(A/B)^{1/6}$ . (b) Repulsiva. (c) Atrativa.  
 41. (a) Um ponto de inversão à esquerda, nenhum à direita.  
 (b) Pontos de inversão à esquerda e à direita.  
 (c)  $-1,2 \times 10^{-10}$  J. (d)  $2,2 \times 10^{-10}$  J.  
 (e)  $\approx 1 \times 10^{-9}$  N, sobre o átomo de massa  $m$  na direção do átomo de  
 massa  $M$ , bem como sobre o átomo de massa  $M$ , na direção do átomo de  
 massa  $m$ .  
 (f)  $r < 0,2$  nm. (g)  $r > 0,2$  nm. (h)  $r = 0,2$  nm.  
 43. (a)  $7,9 \times 10^4$  J. (b) 1,8 W. 45. (a) 2.700 MJ.  
 (b) 2.700 MW. (c) 240 M\$. 47. (a) -0,74 J.

- (b)  $-0,53 \text{ J}$ . **49.** (a)  $1,2 \text{ km}$ . (b)  $75 \text{ kW}$ . **51.**  $690 \text{ W}$ .  
**53.**  $5,5 \times 10^6 \text{ N}$ . **55.**  $24 \text{ W}$ . **57.** (b)  $3,4$ .  
**59.** (a)  $-3,800 \text{ J}$ . (b)  $3,1 \times 10^4 \text{ N}$ . **61.**  $54\%$ .  
**63.**  $-12 \text{ J}$ . **65.** (a)  $1,5 \text{ MJ}$ . (b)  $0,51 \text{ MJ}$ . (c)  $1,0 \text{ MJ}$ .  
**67.**  $0,191$ . **69.**  $44 \text{ m/s}$ . (b)  $0,036$ .  
**73.** (a)  $0,1 \text{ m}$ . (b)  $2,8 \text{ m/s}$ . **75.** (a)  $560 \text{ J}$ . (b)  $150 \text{ J}$ .  
 (c)  $5,5 \text{ m/s}$ . **77.**  $1,2 \text{ m}$ .  
**81.** No centro da parte plana. **83.** (a)  $7,3 \text{ m/s}$ .  
 (b)  $0,9 \text{ m}$ . (c)  $2,7 \text{ m}$ . (d)  $14,9 \text{ m}$ . **85.**  $180 \text{ W}$ .  
**87.** (a)  $2,1 \times 10^6 \text{ kg}$ . (b)  $\sqrt{100 + 1,5t} \text{ m/s}$ .  
 (c)  $[(1,5 \times 10^6)/\sqrt{100 + 1,5t}] \text{ N}$ . (d)  $6,7 \text{ km}$ .  
**89.** (a)  $110 \text{ rev/min}$ . (b)  $19 \text{ W}$ . **91.** (a)  $216 \text{ J}$ .  
 (b)  $1,180 \text{ N}$ . (c)  $432 \text{ J}$ , o dobro da resposta do item (a).  
**93.** (a)  $1,1 \times 10^{17} \text{ J}$ . (b)  $1,2 \text{ kg}$ . **95.**  $1,10 \text{ kg}$ .  
**97.** 270 vezes a circunferência equatorial da Terra.  
**99.**  $2 \times 10^5 \text{ kg}$ . **101.** (a)  $2,46 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$ . (b) Emitida.

### Capítulo 9

- 1.** (a)  $4,700 \text{ km}$ . (b)  $0,72 R_T$ .  
**3.** (a)  $x_{\text{cm}} = 1,1 \text{ m}$ ;  $y_{\text{cm}} = 1,3 \text{ m}$ .  
 (b) Ele se desloca na direção da partícula de cima.  
**5.**  $x_{\text{cm}} = -0,25 \text{ m}$ ;  $y_{\text{cm}} = 0$ .  
**7.** Dentro do ferro, na metade da altura, na metade da largura a  $2,7 \text{ cm}$  da metade do comprimento.  
**9.**  $x_{\text{cm}} = y_{\text{cm}} = 20 \text{ cm}$ ;  $z_{\text{cm}} = 16 \text{ cm}$ . **11.**  $36,8 \text{ m}$ .  
**13.**  $6,2 \text{ m}$ . **15.** (a) Para baixo;  $m\mathbf{v}/(m + M)$ .  
 (b) O balão ficará de novo estacionário. **17.** (a)  $L$ . (b) Zero.  
**19.**  $58 \text{ kg}$ . **21.** (a) A  $25 \text{ mm}$  de cada saco.  
 (b) A  $26 \text{ mm}$  do saco mais leve. (c) Para baixo. (d)  $-1,6 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2$ .  
**23.**  $39,900 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , na direção do movimento.  
**25.** (a)  $52,0 \text{ km/h}$ . (b)  $28,8 \text{ km/h}$ . **27.** Um próton.  
**29.** (a)  $30^\circ$ . (b)  $(-0,572 \text{ kg} \cdot \text{m/s})\mathbf{j}$ . **31.** (a)  $6,4 \text{ J}$ .  
 (b)  $P_i = 0,80 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $30^\circ$  acima da horizontal;  
 $P_f = 0,80 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ ,  $30^\circ$  abaixo da horizontal.  
**33.**  $9,8 \times 10^{-3} \text{ ft/s}$ , para trás. **35.**  $4,400 \text{ km/h}$ .  
**37.**  $w_{\text{rel}}/(W + w)$ .  
**39.**  $14 \text{ m/s}$ , fazendo um ângulo de  $135^\circ$  com os outros fragmentos.  
**41.** (a)  $0,54 \text{ m/s}$ . (b)  $0 \text{ m/s}$ . (c)  $1,1 \text{ m/s}$ .  
**43.** (a)  $721 \text{ m/s}$ . (b)  $937 \text{ m/s}$ . **45.** (a)  $0,200v_{\text{rel}}$ .  
 (b)  $0,210v_{\text{rel}}$ . (c)  $0,209v_{\text{rel}}$ . **47.** (a)  $8,0 \times 10^4 \text{ N}$ .  
 (b)  $27 \text{ kg/s}$ . **49.** (a)  $1,57 \times 10^6 \text{ N}$ . (b)  $1,35 \times 10^5 \text{ kg}$ .  
 (c)  $2,08 \text{ km/s}$ . **51.**  $2,2 \times 10^{-3}$ . **55.**  $6,1 \text{ s}$ .  
**57.** (a)  $2,3 \times 10^4 \text{ N}$ . (b)  $4,2 \times 10^6 \text{ W}$ .  
**59.**  $2,7 \text{ m/s}$ . **61.** (a)  $-500 \text{ J}$ . (b)  $1,700 \text{ N}$ .

### Capítulo 10

- 1.**  $400 \text{ N} \cdot \text{s}$ . **3.**  $2,5 \text{ m/s}$ . **5.** (a)  $2m\mathbf{v}/\Delta t$ . (b)  $570 \text{ N}$ .  
**7.**  $6,400 \text{ lb}$  ( $2,903,0 \text{ kgf}$ ). **9.**  $67 \text{ m/s}$ .  
**11.** (a)  $2,3 \text{ N} \cdot \text{s}$ , no sentido inicial do voo.  
 (b)  $2,3 \text{ N} \cdot \text{s}$ , no sentido oposto ao sentido inicial do voo.  
 (c)  $1,400 \text{ N}$ , no sentido inicial do voo. (d)  $58 \text{ J}$ .  
**13.**  $10 \text{ m/s}$ . **15.**  $216$ . **17.**  $29$ . **19.**  $2\mu v$ . **21.**  $990 \text{ N}$ .  
**23.** (a)  $1,8 \text{ N} \cdot \text{s}$ , para a esquerda. (b)  $180 \text{ N}$ , para a direita.  
**27.**  $8 \text{ m/s}$ . **29.** (a)  $1,9 \text{ m/s}$ , para a direita. (b) Sim.  
 (c) Não, a energia cinética total teria aumentado.  
**31.**  $0,22\%$ . **33.** (a)  $99 \text{ g}$ . (b)  $1,9 \text{ m/s}$ .  
**35.** (a)  $2,47 \text{ m/s}$ . (b)  $1,23 \text{ m/s}$ . **37.**  $100 \text{ g}$ . **39.**  $m_i/3$ .  
**41.**  $\approx 2 \text{ m\ddot{u}/ano}$ . **43.**  $1,81 \text{ m/s}$ . **45.**  $310 \text{ m/s}$ .  
**47.**  $2,7 \text{ m/s}$ . (b)  $1,400 \text{ m/s}$ . **49.**  $190 \times 10^3 \text{ kgf}$ . **51.**  $m\mathbf{v}^2/6$ .  
**53.**  $13 \times 10^3 \text{ kgf}$ . **55.**  $25 \text{ cm}$ . **57.** (a)  $62,5 \text{ km/h}$ . (b)  $0,75$ .  
**59.**  $\sqrt{2E \frac{M+m}{mM}}$   
**61.** (a) A  $30^\circ$  a partir do sentido do movimento do primeiro próton. (b)  $250 \text{ m/s}$  e  $430 \text{ m/s}$ . **63.** (a)  $41^\circ$ . (b)  $4,76 \text{ m/s}$ .  
 (c) Não. **65.**  $v = V/4$ .  
**67.** (a) A  $117^\circ$  a partir do sentido final de B. (b) Não.  
**69.**  $120^\circ$ . **71.** (a)  $1,9 \text{ m/s}$ , a  $30^\circ$  com relação ao sentido inicial.  
 (b) Não. **73.** (a)  $3,4 \text{ m/s}$ , defletida de  $17^\circ$  para a direita.

- (b)  $0,95 \text{ MJ}$ . **75.** (a)  $117 \text{ MeV}$ .  
 (b) Momentos lineares de módulos iguais e sentidos opostos. (c)  $\pi^-$ .  
**77.** (a)  $4,94 \text{ MeV}$ . (b) Zero. (c)  $4,85 \text{ MeV}$ .  
 (d)  $0,09 \text{ MeV}$ .

### Capítulo 11

- 1.** (a)  $1,50 \text{ rad}$ . (b)  $85,9^\circ$ . (c)  $1,49 \text{ m}$ .  
**3.** (a)  $5,5 \times 10^{15} \text{ s}$ . (b)  $26$ . **5.** (a)  $2 \text{ rad}$ . (b)  $0$ .  
 (c)  $130 \text{ rad/s}$ . (d)  $32 \text{ rad/s}^2$ . (e) Não.  
**7.** (a)  $0,105 \text{ rad/s}$ . (b)  $1,75 \times 10^{-3} \text{ rad/s}$ .  
 (c)  $1,45 \times 10^{-4} \text{ rad/s}$ . **9.**  $11 \text{ rad/s}$ . **11.** (a)  $30 \text{ s}$ .  
 (b)  $1,800 \text{ rad}$ . **13.** (a)  $9,000 \text{ rev/min}^2$ . (b)  $420 \text{ rev}$ .  
**15.** (a)  $-1,25 \text{ rad/s}^2$ . (b)  $250 \text{ rad}$ . (c)  $39,8 \text{ rev}$ .  
**17.** (a)  $140 \text{ rad}$ . (b)  $14 \text{ s}$ . **19.**  $8,0 \text{ s}$ . **21.** (a)  $340 \text{ s}$ .  
 (b)  $-4,5 \times 10^{-3} \text{ rad/s}^2$ . (c)  $98 \text{ s}$ . **23.** (a)  $1,0 \text{ rev/s}^2$ .  
 (b)  $4,8 \text{ s}$ . (c)  $9,6 \text{ s}$ . (d)  $48 \text{ rev}$ .  
**25.** (b)  $-2,3 \times 10^{-2} \text{ rad/s}^2$ . (c)  $2,600 \text{ a}$ . (d)  $24 \text{ ms}$ .  
**27.** (a)  $3,5 \text{ rad/s}$ . (b)  $53,34 \text{ cm/s}$ . (c)  $25,4 \text{ cm/s}$ .  
**29.** (a)  $20,9 \text{ rad/s}$ . (b)  $12,5 \text{ m/s}$ . (c)  $800 \text{ rev/min}^2$ .  
 (d)  $600 \text{ rev}$ . **31.** (a)  $2,0 \times 10^{-2} \text{ rad/s}$ . (b)  $30 \text{ km/s}$ .  
 (c)  $5,9 \text{ mm/s}^2$ , apontando para o Sol.  
**33.** (a)  $2,50 \times 10^{-3} \text{ rad/s}$ . (b)  $20,2 \text{ m/s}^2$ . (c)  $0$ .  
**35.** (a)  $7,3 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ . (b)  $350 \text{ m/s}$ .  
 (c)  $7,3 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ ,  $460 \text{ m/s}$ . **37.** (a)  $40,2 \text{ cm/s}^2$ .  
 (b)  $2,36 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ . (c)  $83,2 \text{ m}$ .  
**39.** (a)  $3,8 \times 10^3 \text{ rad/s}$ . (b)  $190 \text{ m/s}$ . **41.**  $16 \text{ s}$ .  
**43.** (a)  $73 \text{ cm/s}^2$ . (b)  $0,075$ . (c)  $0,11$ . **45.**  $12,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ .  
**47.** Primeiro cilindro:  $1,100 \text{ J}$ ; segundo cilindro:  $9,700 \text{ J}$ .  
**49.** (a)  $1,300 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$ . (b)  $550 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$ . (c)  $1,900 \text{ g} \cdot \text{cm}^2$ .  
 (d)  $A + B$ . **51.** (a)  $5 \text{ m}^2 + 8 \text{ M}^2/3$ . (b)  $(5 \text{ m}^2 + 4 \text{ M}^2/3) I^2 \omega^2$ .  
**53.** (a)  $9,71 \times 10^{17} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . (b)  $2,57 \times 10^{20} \text{ J}$ .  
 (c)  $1,9 \times 10^9 \text{ y}$ . **57.**  $1/3 M(a^2 + b^2)$ . **59.** (a)  $49 \text{ MJ}$ .  
 (b)  $100 \text{ min}$ . **61.**  $140 \text{ N} \cdot \text{m}$ .  
**63.** (a)  $r_1 F_1 \sin \theta_1 = r_2 F_2 \sin \theta_2$ . (b)  $-3,8 \text{ N} \cdot \text{m}$ .  
**65.**  $1,28 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . **67.**  $9,7 \text{ rad/s}^2$ , anti-horário.  
**69.** (a)  $155 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . (b)  $64,4 \text{ kg}$ . **71.**  $130 \text{ N}$ .  
**73.** (a)  $6,00 \text{ cm/s}^2$ . (b)  $4,87 \text{ N}$ . (c)  $4,54 \text{ N}$ .  
 (d)  $1,20 \text{ rad/s}^2$ . (e)  $0,0138 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . **75.** (a)  $2\theta/t^2$ .  
 (b)  $2R\theta/t^2$ . (c)  $T_1 = M(g - 2R\theta/t^2)$ .  
 $T_2 = Mg - (2\theta/t^2)(MR + IR)$ .  
**77.** (a)  $3g(1 - \cos \theta)$ . (b)  $3(g \sin \theta)/2$ . (c)  $41,8^\circ$ .  
**79.**  $292 \text{ ft} \cdot \text{lb}$  ( $396 \text{ N} \cdot \text{m}$ ). **81.** (a)  $m\mathbf{v}^2\omega^2/6$ .  
 (b)  $I\omega^2/6g$ . **83.**  $\sqrt{9g/4l}$ . **85.** (a)  $4,8 \times 10^5 \text{ N}$ .  
 (b)  $1,1 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}$ . (c)  $1,3 \times 10^6 \text{ J}$ .  
**87.** (a)  $-7,66 \text{ rad/s}^2$ . (b)  $-11,7 \text{ N} \cdot \text{m}$ .  
 (c)  $-4,60 \times 10^4 \text{ J}$ . (d)  $624 \text{ rev}$ .  
 (e) O trabalho realizado pelo atrito,  $-4,60 \times 10^4 \text{ J}$ .

### Capítulo 12

- 1.**  $1,00$ . **3.** (a)  $59,3 \text{ rad/s}$ . (b)  $-9,31 \text{ rad/s}^2$ .  
**5.** (a)  $990 \text{ J}$ . (b)  $3,000 \text{ J}$ . (c)  $1,1 \times 10^5 \text{ J}$ .  
**7.** (a)  $60,7 \text{ J}$ . (b)  $3,4 \text{ m}$ . (c) Não.  
**9.** (a)  $0 \text{ m/s}$ ,  $0 \text{ m/s}^2$ . (b)  $22 \text{ m/s}$ ,  $1,500 \text{ m/s}^2$ .  
 (c)  $-22 \text{ m/s}$ ,  $1,500 \text{ m/s}^2$ . (d) Centro:  $22 \text{ m/s}$ ,  $0 \text{ m/s}^2$ .  
 topo:  $44 \text{ m/s}$ ,  $1,500 \text{ m/s}^2$ ; base:  $0 \text{ m/s}$ ,  $1,500 \text{ m/s}^2$ .  
**11.**  $48 \text{ m}$ . **13.** (a)  $2,7R$ . (b)  $(50/7) mg$ . **15.** (a)  $1,13 \text{ s}$ .  
 (b)  $13,6 \text{ m}$ . **17.**  $70 \text{ r.p.s./s}$ .  
**21.** (a)  $10 \text{ N} \cdot \text{m}$ , paralelo ao plano  $yz$ , formando um ângulo de  $53^\circ$  com o eixo  $y$  positivo. (b)  $22 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,  $-x$ .  
**23.** (a)  $(6,0 \text{ N} \cdot \text{m})\mathbf{i} - (3,0 \text{ N} \cdot \text{m})\mathbf{j} - (6,0 \text{ N} \cdot \text{m})\mathbf{k}$ .  
 (b)  $(26 \text{ N} \cdot \text{m})\mathbf{i} + (3,0 \text{ N} \cdot \text{m})\mathbf{j} - (18 \text{ N} \cdot \text{m})\mathbf{k}$ .  
 (c)  $(32 \text{ N} \cdot \text{m})\mathbf{i} - (24 \text{ N} \cdot \text{m})\mathbf{k}$ . (d)  $0$ .  
**25.** (a)  $(50 \text{ N} \cdot \text{m})\mathbf{k}$ . (b)  $90^\circ$ . **27.**  $9,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ .  
**31.**  $2,5 \times 10^{11} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ . **33.**  $m\mathbf{r}\mathbf{v}$ , com relação a qualquer origem.  
**35.** (a)  $3,15 \times 10^{13} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ . (b)  $0,616$ .  
**37.**  $4,5 \text{ N} \cdot \text{m}$ , paralelo ao plano  $xy$  formando um ângulo de  $-63^\circ$  com o eixo  $x$  positivo.  
**39.** (a)  $0$ . (b)  $0$ .

- (c)  $30 \text{ t}^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ ,  $90 \text{ t}^2 \text{ N} \cdot \text{m}$ , ambos na direção  $-z$ .  
 (d)  $30 \text{ t}^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ ,  $90 \text{ t}^2 \text{ N} \cdot \text{m}$ , ambos na direção  $+z$ .  
**41.** (a)  $(mgt^2u_0 \cos \theta_0)/2$ . (b)  $mgtu_0 \cos \theta_0$ .  
 (c)  $mgtu_0 \cos \theta_0$ . **43.** (a)  $-1,47 \text{ N} \cdot \text{m}$ . (b)  $20,4 \text{ rad}$ .  
 (c)  $-29,9 \text{ J}$ . (d)  $19,9 \text{ W}$ . **45.** (a)  $12,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ .  
 (b)  $308 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ , para baixo. **49.** (a)  $1,2 \text{ s}$ . (b)  $8,6 \text{ m}$ .  
 (c)  $5,2 \text{ rev}$ . (d)  $6,1 \text{ m/s}$ . (e) Não.  
**51.** (a)  $3,6 \text{ rev/s}$ . (b)  $3,0$ .  
 (c) O trabalho realizado pelo homem ao aproximar os pesos do corpo.  
**53.** (a)  $267 \text{ r.p.m./min}$ . (b)  $2/3$ . **55.**  $3,0 \text{ min}$ .  
**57.**  $12,7 \text{ rad/s}$ , em sentido horário, visto de cima.  
**59.** (a)  $7 \text{ ML}^2/12$ . (b)  $7 \text{ ML}^2\omega_f/12$  para baixo. (c)  $14 \omega_f/5$ .  
 (d)  $21 \text{ mL}^2\omega_f^2/40$ . **61.** (a)  $(mRv - I\omega_0)/(I + mR^2)$ .  
 (b) Não. Um pouco de energia será transformada em energia interna da barata.  
**63.** A duração do dia aumentaria cerca de  $0,8 \text{ s}$ .  
**65.** (a)  $0,148 \text{ rad/s}$ . (b)  $0,0123$ . (c)  $181^\circ$ .  
**67.**  $0,43 \text{ r.p.m.}$

# CRÉDITOS DAS FOTOS

## Capítulo 1

**Abertura:** Martin Bond/Science Photo Library/Photo Researchers. Pág. 4: (Fig. 1-1) CNRI/Science Photo Library/Photo Researchers; (Fig. 1-2) Cortesia do National Institute of Standards and Measures. Pág. 5: Steven Pitkin. Pág. 6: Cortesia do National Institute of Standards and Measures. Pág. 7: Cortesia do Bureau International des Poids et Mesures, França.

## Capítulo 2

**Abertura:** Kevin Levine/Allsport. Pág. 19: Cortesia de U.S. Air Force. Pág. 23: James Sugar/Black Star. Pág. 25: Cortesia dos Drs. Mike Isaacson e M. Ohtsyki, Cornell University. Pág. 33: (Fig. 2-25) Bianca Lavies; (Fig. 2-26) Paul S. Sutton/Duomo. Pág. 34: *The Boston Globe*.

## LEITURA COMPLEMENTAR 1

Pág. 36: Cortesia de Jearl Walker.

## Capítulo 3

**Abertura:** Cortesia de David des Marais, copyright © 1976 Cave Research Foundation.

## Capítulo 4

**Abertura:** Jerry Yulsman/Image Bank. Pág. 60: C. E. Miller/Massachusetts Institute of Technology. Pág. 61: Richard Megna/Fundamental Photographs. Pág. 62: (Fig. 4-12) Jamie Budge/Gamma-Liaison; (Fig. 4-13) C. E. Miller/Massachusetts Institute of Technology. Pág. 75: Tony Duffy/Allsport. Pág. 76: Cortesia de Boeing Corporation. Pág. 78: Steve Brown/Leo de Wys.

## Capítulo 5

**Abertura:** AP/Wide World Photos. Pág. 88: Richard Hutchings/Photo Researchers. Pág. 89: David Madison/Bruce Coleman. Pág. 99: Cortesia da NASA. Pág. 100: Cortesia do National Archive. Págs. 103 e 104: Hartwell/Sygma.

## Capítulo 6

**Abertura:** Agence Nature/NHPA. Pág. 111: Cortesia de U.S. Steel Corporation, Technical Center, Monroesville, Pennsylvania. Pág. 115: Mark Junak/Tony Stone Worldwide. Pág. 116 e 4.<sup>a</sup> capa do volume: F. Richard-Ardia/Agence Vandystadt/Photo Researchers. Pág. 118: Fotografia reproduzida com autorização do Ringling Brothers e Barnum & Bailey Circus, cortesia de Circus World Museum. Pág. 123: Jerry Schad/Photo Researchers. Pág. 125: Susan Copen Oken/DOT Pictures.

## Capítulo 7

**Abertura:** Steven E. Sutton/Duomo. Pág. 132: Jack S. Grove/Profiles West. Pág. 142: Cortesia de Library of Congress. Pág. 144: Photri. Pág. 152: Foto de James Baker, cortesia de Dennis Milon.

## Capítulo 8

**Abertura:** John Livzy/AllStock. Pág. 156: (à esquerda) copyright © Estate of Harold Edgerton, cortesia de Palm Press, Inc.; (à direita) Efrin Knight/Picture Cube. Pág. 168: (à esquerda) Helga Lade/Peter Arnold; (à direita) David Stoecklein/Stock Market. Pág. 171: Foto de Justo Alfonso, cortesia de Rocky Raisen, Shenandoah Junior High School. Pág. 180: Cortesia da NASA. Pág. 181: Cortesia de Cunard, a Trafalgar House Company. Pág. 185: Cortesia de Library of Congress.

## Capítulo 9

**Abertura:** Lois Greenfield/Bruce Coleman. Pág. 188: Richard Megna/Fundamental Photographs. Pág. 191: Anthony Marshall/Woodfin Camp & Associates. Pág. 200: Cortesia da NASA. Pág. 207: Mauritius-W. Fisher/Photri.

## Capítulo 10

**Abertura:** C. E. Miller, Massachusetts Institute of Technology. Pág. 214: (Fig. 10-1) Breck Kent/Earth Scenes; (Fig. 10-2a e b) Photo Researchers; (Fig. 10-2c) cortesia L. Hernquist, Princeton University. Pág. 2: (Fig. 10-4) Russ Kinne/Comstock; (Fig. 10-5) Ben Rose/Image Bank. Pág. 223: Cortesia de Mercedes-Benz of North America. Pág. 229: Craig Blouin/F/Stop Pictures. Pág. 230: Georg Lang/*Sports Illustrated*/copyright © Time, Inc. Pág. 231: *Superman* #48, October 1990, copyright © DC Comics, Inc. Todos os direitos reservados. Reimpressa com autorização.

## Capítulo 11

**Abertura:** Guido Alberto Rossi/Image Bank. Pág. 240: Rick Rickman/Duomo. Pág. 245: Art Tilley/FPG International. Pág. 247: Roger Ressmeyer/Starlight. Pág. 260: Cortesia do Lick Observatory. Pág. 263: Cortesia do Lawrence Livermore Laboratory, Universidade da Califórnia.

## Capítulo 12

**Abertura:** Cortesia de Ringling Brothers e Barnum & Bailey Circus. Pág. 268 (Fig. 12-1): Richard Megna/Fundamental Photographs; (Fig. 12-4) Cortesia de Alice Halliday. Pág. 280: Cortesia da NASA.

## LEITURA COMPLEMENTAR 2

Pág. 294: (Fig. 1) Susan Cook; (à direita) cortesia de Kenneth Laws. Pág. 295 (Fig. 3): Susan Cook. Págs. 295-297 (Figs. 4, 5 e 6): Martha Swope.

# ÍNDICE ALFABÉTICO

## A

Aceleração, 19, 22, 57-60  
 - angular, 241, 244  
 - - instantânea, 242  
 - centrípeta, 65-66, 116  
 - constante, 20-23  
 - de queda livre  $g$ , 23-25  
 - devida à gravidade, 60, 61  
 - média, 19, 57-60  
 Acre-pé, 9  
 Alcance, no movimento de um projétil, 60, 62  
 Algarismos significativos, 3, 17  
 Alvos, 217-221  
 Ano-luz, 9  
 Antipartículas, 26  
 Aproximações, 145  
 Área de seção reta efetiva, 114  
 Arrasto, 164  
 - coeficiente de, 114  
 Átomos, 26  
 - níveis de energia, 172  
 Atrito, 88, 109-114  
 - cinético, 110, 111, 158  
 - como força não-conservativa, 164  
 - de rolamento, 269  
 - dissipação de energia no, 158, 167  
 - estático, 110, 111  
 - natureza atômica, 111  
 - trabalho da força de, 168-170  
 Automóveis, aceleração, 203-204

## B

Balança(s), 87  
 - de mola, 87  
 Balé, mecânica do, 294-297  
 Bohr, Niels, 173  
 Bombas vulcânicas, 75  
 Braço da alavanca, 252  
 Brancaccio, Peter J., 115  
 Bureau Internacional de Pesos e Medidas, 3, 7

## C

Carbono 12, como massa padrão, 8  
 Carros, aceleração, 203-204  
 Centrífuga, aceleração numa, 66  
 Centro de massa, 187, 189-192  
 - colisões elásticas, 219  
 - colisões inelásticas, 219  
 - de corpos rígidos, 189  
 - de sistema de partículas, 187-188  
 - em rolamento, 267  
 Ciclóides, 268  
 Cinemática, 13, 71  
 - a baixa velocidade, 13-14, 70  
 Circuito fechado, 164  
 Cobre, 26  
 Coeficiente  
 - de atrito, 111  
 - de viscosidade, 114  
 Colisões, 213-214, 224  
 - elásticas, 217-221  
 - - alvo de grande massa, 218  
 - - alvo em movimento, 219-221

- - alvo estacionário, 217-218  
 - - massas iguais, 218  
 - - movimento do centro de massa, 218  
 - - projétil de grande massa, 218  
 - em duas dimensões, 224-226  
 - inelásticas, 221-224  
 - série de, 216-217  
 - simples, 214-216  
 Componentes(s)  
 - de vetores, 42-46  
 - escalares de vetores, 44  
 Comprimento, 3-5  
 Condições iniciais, 244  
 Configuração de referência, para energia potencial, 158  
 Conservação  
 - da energia mecânica, 156-158, 164, 167-168  
 - da energia total, 167, 169-170  
 - da massa-energia, 170  
 - do momento angular, 279-283  
 - do momento linear, 196-200, 217-219, 222, 226  
 Constantes(s)  
 - de Planck, 173, 285  
 - fundamentais, 301  
 Conversão em cadeia, 2  
 Cord, 9  
 Corpos rígidos  
 - centro de massa, 189  
 - inércia rotacional dos, 248-251  
 - momento angular, 277  
 Criptônio-86, como metro padrão, 4

## D

Dança, mecânica da, 294-297  
 Derivadas, 14, 18, 315  
 Desaceleração, 19, *veja também* Aceleração  
 Deslocamento, 14, 39, 55  
 - angular, 241, 243  
 Déutrons, 172  
 Diagrama do corpo livre, 85  
 Dipolo elétrico, *veja* Dipolo  
 Dirac, P.A.M., 63  
 Dissipação de energia, 158, 167  
 Distância  
 - de frenagem, 32  
 - de reação, 32

## E

Einstein, Albert, 121, 170, 196, 197, *veja também* Relatividade  
 Elementos, 26, 305-306  
 - tabela periódica, *veja* Tabela periódica  
 Elétron-volt, 133  
 Elétrons, 26, 285  
 - níveis de energia, 172  
 Emissão de luz, 173  
 Empuxo aerodinâmico, 201  
 Encontro com efeito estilingue, 214  
 Energia, 155  
 - cinética, 140-143, 157  
 - - a alta velocidade, 145  
 - - colisões elásticas, 217  
 - - colisões inelásticas, 221-224  
 - de rolamento, 268  
 - de rotação, 247

- - de um sistema de partículas, 202-204  
 - - de uma bola caindo, 157-158  
 - - do sistema massa-mola, 156-158  
 - conservação, 167-168, 169  
 - conversão massa-energia, 170-171  
 - de ligação, 172  
 - dissipação, 158, 167  
 - interna, *veja* energia térmica  
 - mecânica, 166  
 - - conservação, 156, 157, 158, 164, 167-168  
 - - de bola caindo, 157  
 - - dos sistemas bloco-mola, 157-159  
 - níveis, 172  
 - potencial, 165  
 - - curvas de, 166  
 - - da configuração de referência, 158  
 - - do sistema bloco-mola, 157  
 - - elástica, 155-160  
 - - gravitacional, 155, 160-164  
 - quantização, 172  
 - térmica, 155  
 - - gerada por atrito, 158, 167  
 Equações de movimento, 22, 23, 244  
 Equilíbrio  
 - estável, 167  
 - instável, 167  
 - neutro, 166  
 Escala Richter, 185  
 Escalares, 39  
 Escalas, 87  
 Escoamento do tráfego, 36-37  
 Espectrômetros, 8  
 - de massa, 8  
 Estados(s)  
 - excitados, 172  
 - fundamental, 172  
 - normal de uma mola, 138  
 - quânticos, 172  
 Estrela(s)  
 - colapso, 281  
 - de nêutrons, 77

## F

Falhas geológicas, 51  
 Fatores de conversão, 2-3, 309-312  
 Fermi-luz, 6  
 Física, 25-27  
 - clássica, 26  
 - de partículas, 25-27, *veja também* Partículas específicas  
 - - antipartículas, 26  
 - quântica, 26  
 - - *versus* clássica, 26  
 - vencedores do Prêmio Nobel, 317-321  
 Fissão nuclear, 172  
 Flúidos, 114  
 Foguetes, 200-202  
 Força(s), 81-83  
 - centrípeta, 116-117  
 - conservativa, 164-165  
 - de ação, 90  
 - de atrito, *veja* Atrito  
 - de contacto, 117  
 - de reação, 90  
 - de viscosidade, 114, 164  
 - elásticas, 156, 164  
 - eletrofraca, 121

- eletromagnética, 121
- eletromotriz, *veja* Fem
- externa, 193
- forte, 102, 121
- fraca, 121
- fundamentais da natureza, 120-121
- gravitacional, 121, 157-158
- - como força conservativa, 164
- interna, 193
- normal, 88
- não-conservativa, 164-165
- peso como, 87-88
- reação, 90
- restauradora, 138
- resultante, 84
- volumétrica, 117

Fórmulas matemáticas, 313-315

Frequência, 173

Frolich, Cliff, 287

## G

g, 23-25

Galileu, 62

Giroscópio, 283-284

Grandezas

- fundamentais, 2
- invariantes, 146

Gravitação e peso, 87

Grupo local, 51

## H

Hectare, 9

Hidrogênio, 26

Hooke, Robert, 138

## I

Iate solar, 102

Impulso, 291

- angular, 291
- colisões múltiplas, 216-217
- colisões simples, 215

Inclinação, 15

Inércia

- lei da, 82
- rotacional (momento de inércia), 248
- translacional, 248

Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST), 4, 5, 7

Integrais, 140

Iôdo, 272-273

Isótopos, 26

## J

Jarda, 4

Joule, 133

Joule, James Prescott, 133

## L

Laws, Kenneth, 194, 294

Lei de Hooke, 138, 165

Linha de ação, 252

Luz, 123, *veja também* Velocidade da luz

- emissão, 173
- teoria ondulatória, 173

## M

Massa, 7, 83-84

- centro de, *veja* Centro de massa
- conversão massa-energia, 170-171
- e energia, 170
- quantização, 172
- relatividade e, 171
- *versus* peso, 87

Matéria, 25

Mecânica clássica, *veja* Mecânica newtoniana

Mecânica newtoniana, 81, 131

- a alta velocidade, 145
- falha da, para alta velocidade, 196
- grandezas invariantes, 146

Medições, 1

- Sistema Internacional (SI), 2, 299-300

Mês sideral, 10

Metro, 4

- padrão, 3

Micron, 9

Moderadores, 220

Molas, 138-140

- constante de, 138
- energia potencial elástica das, 155-160
- transferência de energia em, 155-156

Momento

- angular, 274-277
- - conservação do, 279-283
- - de corpos rígidos, 277-279
- - de um sistema de partículas, 277
- - e a dança, 294-297
- - quantização, 285
- de inércia, 248-251
- linear, 195
- - conservação do, 197
- - - colisões elásticas, 217
- - - colisões inelásticas, 222
- - - em processos de decaimento, 226
- - de um sistema de partículas, 196
- - em colisões múltiplas, 216-217
- - em colisões simples, 214-215
- - relativístico (alta velocidade), 196
- relativístico, 196

Movimento, 13, *veja também* Aceleração; Leis de Newton; Relatividade; velocidade

- circular uniforme, 65, 116-120, 141
- circular, 65-67, 116-120, *veja também* Rotação
- - energia cinética do, 141
- de projétil, 60-61
- - alcance horizontal, 62
- - alcance, 61, 62
- - movimento vertical, 62
- - resistência do ar, 63
- - trajetória, 60, 62
- de translação, 203, 239
- - no rolamento, 267
- - resumo de relações, 255, 278
- equações, 22, 23, 244
- multidimensional, 55, 67
- relativo, 67-71

Multiplicação vetorial, 252

- produto escalar, 47
- produto vetorial, 48
- vetor por escala, 47
- vetor por vetor, 48

## N

Natureza, forças fundamentais da, 120

Nêutrons, 26

Newton, Isaac, 81

Newton-metro, 133

Notação científica, 2

Núcleo, 26

Número

- de massa, 4
- quântico de spin, 285
- quânticos, 285

## O

Órbita da terra, *veja* Órbitas

Órbitas, 117

Origem, 14

## P

Padrões, 1, 3

- secundários, 3

Pára-quedas, arrasto sobre, 115

Parâmetro(s)

- de impacto, 224
- de velocidade, 145

Partículas, 14

- alfa, 226
- elementares, *veja* Física das partículas

Pé-libra, 133

Pêndulo, 118, 160, 161

- balístico, 222

Período, 260

Peso, 87, 120

- aparente, 87
- ausência de, 67

Planck, Max, 173

Polia, 89

- de massa desprezível, 89

Pontos(s)

- de equilíbrio, curvas de energia potencial, 166-167
- de fusão, 173
- de retorno, em curvas de energia potencial, 166

Posição, 14

- angular, 240-241
- vetor, 55

Potência, 143-145

- instantânea, 144
- média, 144
- na rotação, 255

Precessão, 283-284

Priest, Joseph, 110

Primeira lei de Newton, 82

Princípio

- da invariância, 146
- de Arquimedes, 303-304

Problemas envolvendo blocos, leis de Newton para, 91-97

Processos

- de decaimento, 226-227
- prende-e-desliza, 110

Produto vetorial, 48, 49, 252

Projéteis, 218

Prótons, 26

Pulsares, 260

## Q

Quantização

- da energia de massa/energia, 172
- momento angular, 285

Quarks, 26

Queda livre, 141

Quilograma, 7

- padrão, 7

Quilowatt-hora, 144

## R

Radiano, 240

Reações

- endotérmicas, 227
- exotérmicas, 227
- nucleares, 171, 226
- químicas, 170
- - exotérmica/endotérmica, 227

Referenciais inerciais, 68, 82, 146

Regra da mão direita, 48, 243

Relatividade, 145, 196

- teoria especial da, 70

Relógio

- atômico, 5
- de quartzo, 5

Resistência do ar, 63

Rolamento, 267, 269-272

- atrito durante, 269
- como combinação de rotação/translação, 267, 270
- como rotação pura, 268
- energia cinética, 269

Roldanas sem atrito, 88

Rotacional, inércia, 248-251

Rotação, 254, 256, 278, *veja também* Rolamento

- aceleração angular, 241, 244
- deslocamento angular, 241, 243
- eixo de, 239
- energia cinética de, 247-248
- na dança, 294-297
- natureza vetorial da, 242-244
- posição angular, 240-241
- relações entre variáveis angulares e lineares, 245-247
- segunda lei de Newton na, 252
- velocidade angular, 241

## S

Salto de trampolim, 279

Satélites, 90

- e a força centrípeta, 117
- estabilização, 280

Segunda lei de Newton, 84-87, 91-97

- em colisões, 214
- formas angulares, 252-254, 276
- para um sistema de partículas, 192-195, 202-204

Segundo, 6

Shake, 10  
 Shortley, G., 309  
 Sistema(s)  
   - bloco-mola, 157, 159  
   - de coordenadas dextrógiro, 44  
   - de coordenadas, 44, 46  
   - de massa variável, 200-202  
   - de partículas  
     - - centro de massa, 187  
     - - fechado, 193  
     - - momento angular, 277  
     - - momento linear de um, 195  
     - - segunda lei de Newton para, 192-195, 202  
     - - variação da energia cinética, 202-204  
   - de referência, 146, *veja também* Relatividade  
     - - em duas dimensões, 68-70  
     - - em uma dimensão, 67-68  
     - - inercial, 68, 82, 146  
     - - fechado, 193, 200  
   - Global de Posicionamento, 10  
   - Internacional de Unidades, 2-3, 299-300  
   - isolados, 200  
   - métrico, 2, 299-300  
   - Terra-Lua, 193  
 Snider, John, 110  
 Sódio, estado fundamental do, 172  
 Sol, 303  
 Soldo a frio, 111  
 Soma vetorial  
   - leis da, 41  
   - método da adição das componentes, 45  
   - método gráfico, 40-42  
 Superfície  
   - e atrito, 110  
   - sem atrito, 81  
 Superforça, 121

## T

Tabela periódica, 307  
 Tempo, 5-7  
   - universal coordenado, 5  
 Tensão, 88  
 Teorema  
   - binomial, 145, 314  
   - do impulso e momento linear, 215  
   - dos eixos paralelos, 250  
   - trabalho-energia cinética, 140, 141, 146, 255  
   - trabalho-energia, 158, 167, 169  
 Teorias  
   - da grande unificação, 121  
   - de supercordas, 121  
   - de supersimetria, 121  
 Terceira lei de Newton, 89-91, 94  
 Terra, 82, 303  
 Torque, 251-252  
   - de uma partícula com relação a um ponto fixo, 273-274  
   - interno/externo, 277  
   - trabalho realizado pelo, 254  
 Trabalho, 133, 158  
   - da força de atrito, 168  
   - de rotação, 254  
   - e conservação da energia, 167  
   - força constante, 134-137  
   - força variável, 137-140  
   - por molas, 138  
   - trajetória fechada, 164  
 Trajetória, movimento de projétil, 60, 62  
 Trigonometria e decomposição de vetores, 43  
 Turbulência, 114

## U

Unidade(s), 2-3, 299-300  
   - astronômica, 9  
   - de massa atômica, 8, 171  
   - derivadas, 2, 300  
   - SI, 2, 299-300  
 Unificação das forças da natureza, 120-121

## V

Velocidade, *veja também* Aceleração; Movimento;  
   relatividade  
   - angular, 241  
   - - escalar, 241  
   - - instantânea, 241  
   - da luz, 5, 70  
   - escalar, 17  
   - - angular, 241  
   - instantânea, 17, 56  
   - limite, 114-115  
   - média, 14-15, 56  
 Vencedores do Prêmio Nobel de Física, 317-321  
 Vetores, 14, 39, 314  
   - componentes, 42-46  
   - decomposição, 42  
   - e leis físicas, 46  
   - posição, 55  
   - unitários uniformes, 44

## W

Walker, Jearl, 36  
 Watt, 2, 144  
 Watt, James, 144  
 Williams, D., 309