



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE
JANEIRO
INSTITUTO POLITÉCNICO
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Bomba e Compressores

**“Sistema de unidades e
propriedades dos fluidos”**

Jhonny Huertas

Grandeza fundamental	Grandeza derivada	Dimensão	Símbolo	Unidade métrica (2)		Unidade inglesa (2)	
				Gráfica	Nome	Gráfica	Nome
Massa		M	m	kg	quilograma	lbm	pound
Comprimento		L	ℓ ou L	m	metro	ft in.	foot inch ⁽³⁾
Tempo		T	t	s	segundo	s	second
Temperatura		Θ	T	K	kelvin	°R	rankine
	Área	L ²	s	m ²	-	ft ² , in ²	-
	Volume	L ³	δ	m ³	-	ft ³	-
	Velocidade	L T ⁻¹	v	m/s	-	ft/s	-
	Aceleração	L T ⁻²	a	m/s ²	-	ft/s ²	-
	Força	ML T ⁻²	F	N kgf (1)	newton	poundal lbf (1)	poundal -
	Frequência	T ⁻¹	f	H _z	hertz (8)	H _z	hertz
	Pressão	ML ⁻¹ T ⁻² ou F/L ²	p	kgf/cm ² (1)	pascal	-	-
	Peso específico	ML ⁻² T ⁻² ou FL ⁻³	γ	kgf/m ³ (1) ft/m ³	-	lbf/in ² (1)	psi
	Massa específica	ML ⁻³	ρ	kg/m ³	-	lbm/ft ³	-
	Viscosidade absoluta	ML ⁻¹ T ⁻¹ ou FL ⁻² T	μ	P _a . s (4) cP (5)	- centipoise	lbf . s/ft ² (1)	-
	Viscosidade cinemática	L ² T ⁻¹	ν	cSt (6) m ² /s	centistoke	ft ² /s	-
	Energia	ML ² T ⁻² ou F x L	E	J = N x m	joulo	lbf . ft (1)	-
	Trabalho	ML ² T ⁻² ou F x L	W	kgf . m (1) J = N x m	-	lbf . ft (1)	-
	Vazão volumétrica	L ³ T ⁻¹	Q	m ³ /s	-	ft ³ /s	-
	Vazão em massa	MT ⁻¹	ṁ	kg/s	-	lbm/s	-
	Carga ou (energia/massa)	L ² T ⁻²	H	kgf . m/kg(1) (m/s) ²	-	lbf . ft/lbm (1)	-
	Potência ou (trabalho/tempo)	ML ² T ⁻³	Pot	W = J/s	watt	HP (7)	-
	Velocidade angular	T ⁻¹	ω	rad/s	-	rad/s	-
	Aceleração angular	T ⁻²	α _a	rad/s ²	-	rad/s ²	-

Grandezas e unidades dos sistemas de medidas

Conversão de unidades (volume)

	m ³	in ³	ft ³	galão (gal) (2)	litro (ℓ)	barril (bbl) (3)
m ³	1	61 024	35,315	264,17	10 ³	6,2898
in ³	1,6387 x 10 ⁻⁵	1	5,7870 x 10 ⁻⁴	4,3290 x 10 ⁻³	1,6387 x 10 ⁻²	1,0307 x 10 ⁻⁴
ft ³	2,8317 x 10 ⁻²	1728	1	7,4806	28,317	0,17811
galão (gal) (1)	3,7854 x 10 ⁻³	231	1,3368 x 10 ⁻¹	1	3,7854	2,3810 x 10 ⁻²
litro (ℓ)	10 ⁻³	61,024	3,5315 x 10 ⁻²	2,6417 x 10 ⁻¹	1	6,2898 x 10 ⁻³
barril (bbl) (3)	1,5899 x 10 ⁻¹	9 701,9	5,6146	42	158,99	1

Conversão de unidades (vazão volumétrica)

	m^3/h	ft^3/s	galão/min (gpm)	litro/s (l/s)	barril/dia (bbl/dia)
m^3/h	1	$9,8096 \times 10^{-3}$	4,4029	$2,7778 \times 10^{-1}$	150,96
ft^3/s	101,94	1	448,83	28,317	15 388,5
galão/min (gpm)	$2,2712 \times 10^{-1}$	$2,2280 \times 10^{-3}$	1	$6,3090 \times 10^{-2}$	34,286
litro/s (l/s)	3,6	$3,5315 \times 10^{-2}$	15,850	1	543,449
barril/dia (bbl/dia)	$6,6245 \times 10^{-3}$	$6,4984 \times 10^{-5}$	$2,9167 \times 10^{-2}$	$1,8401 \times 10^{-3}$	1

Conversão de unidades (pressão)

	kg / cm ²	bar	psi	Pa	mH ₂ O	mm Hg
kg / cm ²	1	9,8066 x 10 ⁻¹	14,223	98 066	10	735,56
bar	1,0197	1	14,504	10 ⁵	10,197	750,06
psi	0,70307 x 10 ⁻¹	6,8948 x 10 ⁻²	1	6 894,76	0,70309	51,715
Pa	0,10197 x 10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	14,504 x 10 ⁻⁵	1	0,10197 x 10 ⁻³	0,75006 x 10 ⁻²
mH ₂ O	0,1	9,8064 x 10 ⁻²	1,4223	9 806,4	1	73,554
mmHg	0,13595 x 10 ⁻²	0,13332 x 10 ⁻²	0,19337 x 10 ⁻¹	133,32	0,13596 x 10 ⁻¹	1

Conversão de unidades (viscosidade absoluta)

	cP	Pa . s	lbm / ft . s	slug / ft . s lbf . s / ft ²
cP	1	10 ⁻³	0,672 x 10 ⁻³	0,209 x 10 ⁻⁴
Pa . s	10 ³	1	0,672	0,209 x 10 ⁻¹
lbm / ft . s	1 487	1,487	1	0,311 x 10 ⁻¹
slug / ft . s lbf . s / ft ²	47 900	47,9	32,174 (4)	1

Conversão de unidades (viscosidade cinemática)

	cSt	St cm ² /s	ft ² /s
cSt	1	0,01	0,10764 x 10 ⁻⁴
St cm ² /s	100	1	0,10764 x 10 ⁻²
ft ² /s	92 903	929,03	1

Conversão de unidades (massa específica)

	g/cm^3	kg/m^3	lbm/ft^3
g/cm^3	1	10^3	62,428
kg/m^3	10^{-3}	1	$0,62428 \times 10^{-1}$
lbm/ft^3	$0,16018 \times 10^{-1}$	16,018	1

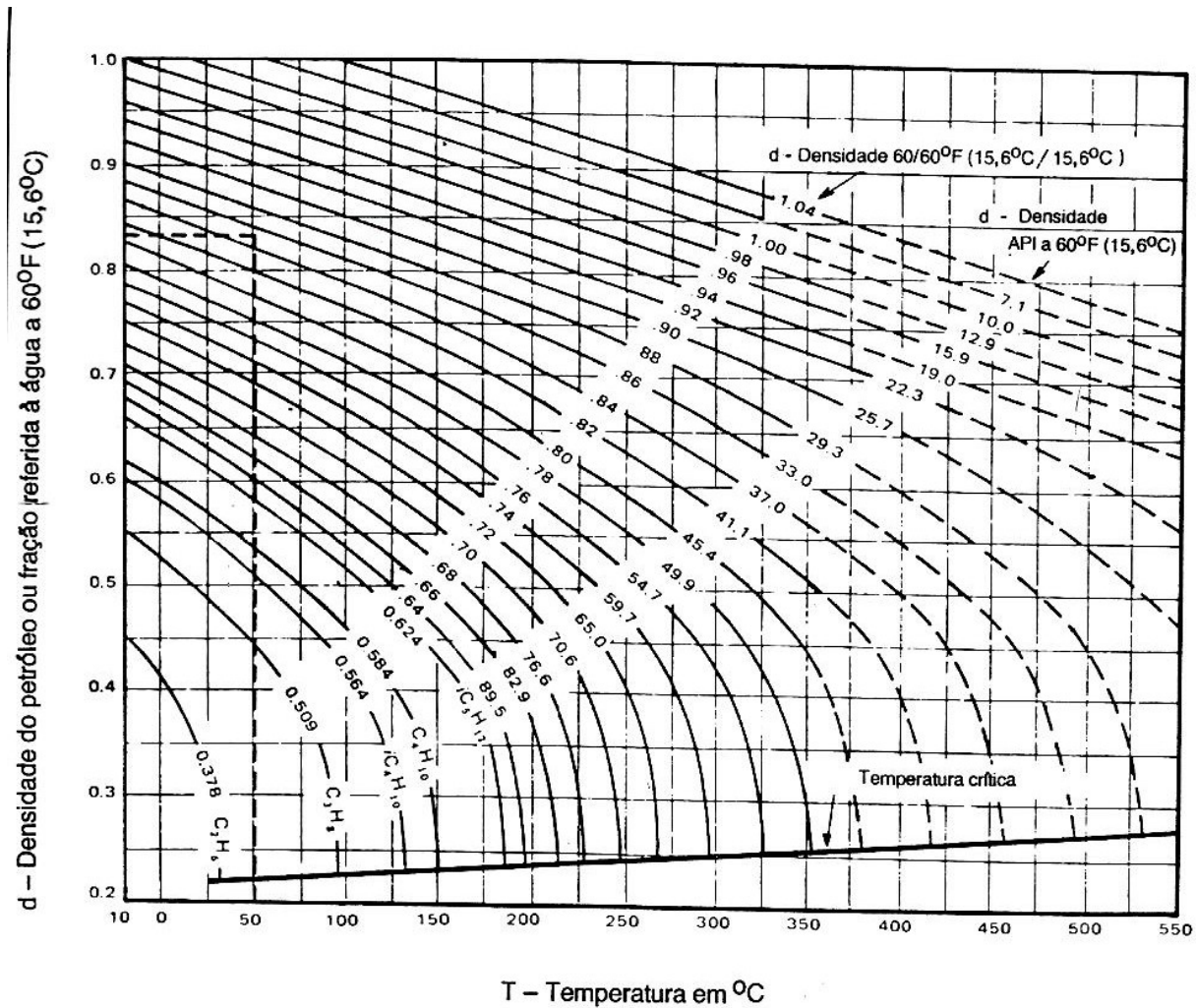
Conversão de unidades (potência e fluxo térmico)

	HP	CV	W ⁽⁶⁾	lbf . ft / s	Btu / h	kcal / h
HP	1	1,0139	745,7	550	2 544,4	641,62
CV	0,98632	1	735,5	542,48	2 509,6	632,84
W ⁽⁶⁾	$0,1341 \times 10^{-2}$	$0,13596 \times 10^{-2}$	1	0,73756	3,4121	0,86042
lbf . ft / s	$0,18182 \times 10^{-2}$	$0,18434 \times 10^{-2}$	1,3558	1	4,6262	1,1666
Btu / h	$0,3930 \times 10^{-3}$	$0,3985 \times 10^{-3}$	0,29307	0,21616	1	0,25216
kcal / h	$0,15586 \times 10^{-2}$	$0,15802 \times 10^{-2}$	1,1622	0,85721	3,9657	1

Propriedade da água a várias temperaturas

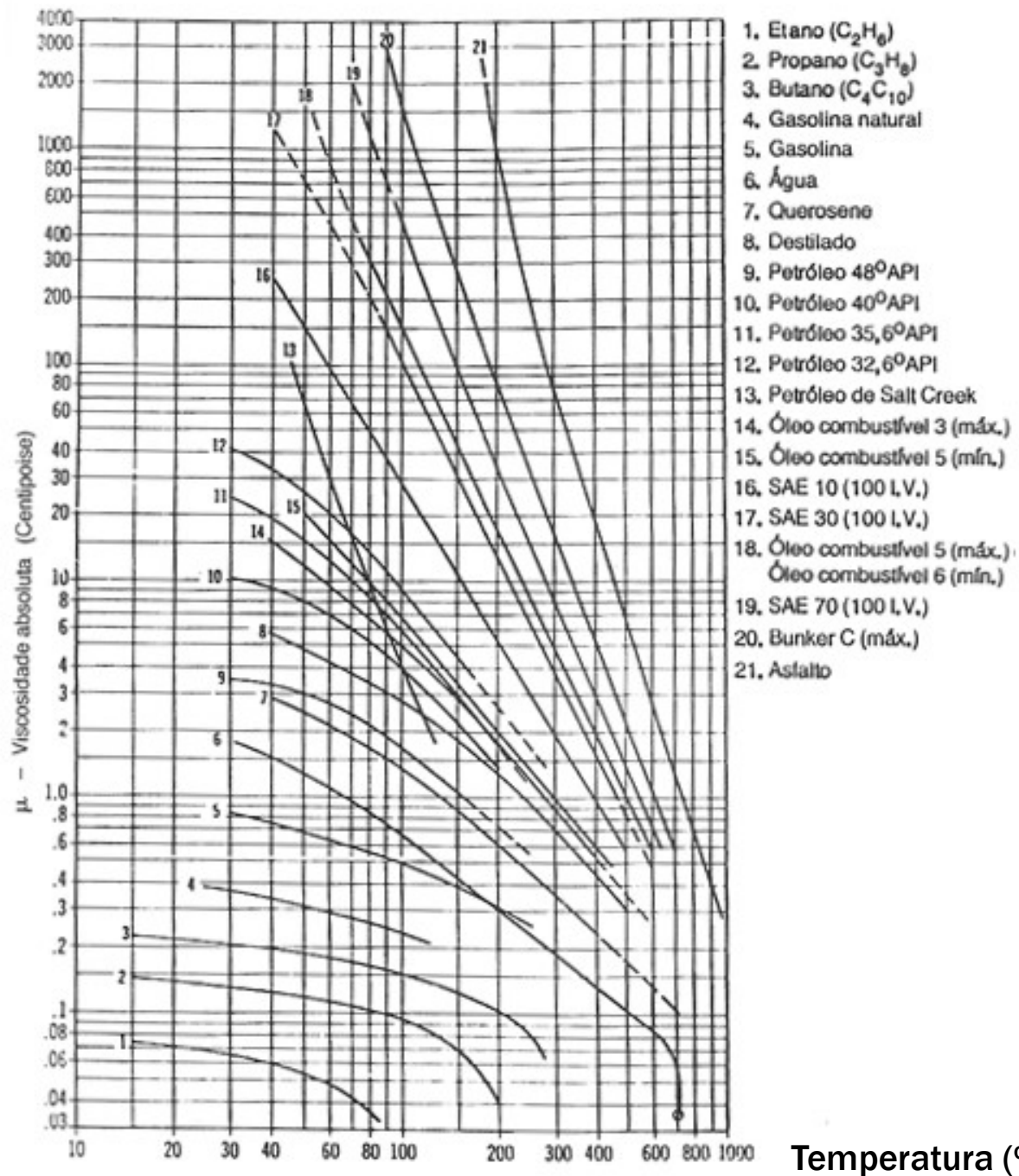
Temperatura (°F)	Temperatura (°C)	Volume específico (ft³/lb) v _g	Densidade (d)			Peso específico (lb/ft³) ρ	Pressão de vapor (psia) P _v
			Referência 39,2°F	Referência 60°F	Referência 70°F		
40	4.4	.01602	1.000	1.001	1.002	62.42	0.1217
50	10.0	.01603	.999	1.001	1.002	62.38	0.1781
60	15.6	.01604	.999	1.000	1.001	62.34	0.2563
70	21.1	.01606	.998	.999	1.000	62.27	0.3631
80	26.7	.01608	.996	.998	.999	62.19	0.5069
90	32.2	.01610	.995	.996	.997	62.11	0.6982
100	37.8	.01613	.993	.994	.995	62.00	0.9492
120	48.9	.01620	.989	.990	.991	61.73	1.692
140	60.0	.01629	.983	.985	.986	61.39	2.889
160	71.1	.01639	.977	.979	.979	61.01	4.741
180	82.2	.01651	.970	.972	.973	60.57	7.510
200	93.3	.01663	.963	.961	.966	60.13	11.526
212	100.0	.01672	.958	.959	.960	59.81	14.696
220	104.4	.01677	.955	.956	.957	59.63	17.186
240	115.6	.01692	.947	.948	.949	59.10	24.97
260	126.7	.01709	.938	.939	.940	58.51	35.43
280	137.8	.01726	.928	.929	.930	58.00	49.20
300	148.9	.01745	.918	.919	.920	57.31	67.01
320	160.0	.01765	.908	.909	.910	56.66	89.66
340	171.1	.01787	.896	.898	.899	55.96	118.01
360	182.2	.01811	.885	.886	.887	55.22	153.04
380	193.3	.01836	.873	.874	.875	54.47	195.77
400	204.4	.01864	.859	.860	.862	53.65	247.31
420	215.6	.01894	.846	.847	.848	52.80	308.83
440	226.7	.01926	.832	.833	.834	51.92	381.59
460	237.8	.0196	.817	.818	.819	51.02	466.9
480	248.9	.0200	.801	.802	.802	50.00	566.1
500	260.0	.0204	.785	.786	.787	49.02	680.8
520	271.1	.0209	.765	.766	.767	47.85	812.4
540	282.2	.0215	.746	.747	.748	46.51	962.5
560	293.3	.0221	.726	.727	.728	45.3	1133.1
580	304.4	.0228	.703	.704	.704	43.9	1325.3
600	315.6	.0236	.678	.679	.680	42.3	1542.9
620	326.7	.0247	.649	.650	.650	40.5	1786.6
640	337.8	.0260	.617	.618	.618	38.5	2059.7
660	348.9	.0278	.577	.577	.578	36.0	2365.4
680	360.0	.0305	.525	.526	.527	32.8	2708.1
700	371.1	.0369	.431	.435	.435	27.1	3093.7
705.4	374.1	.0503	.319	.319	.320	19.9	3206.2

Variação da densidade do petróleo e frações com a temperatura

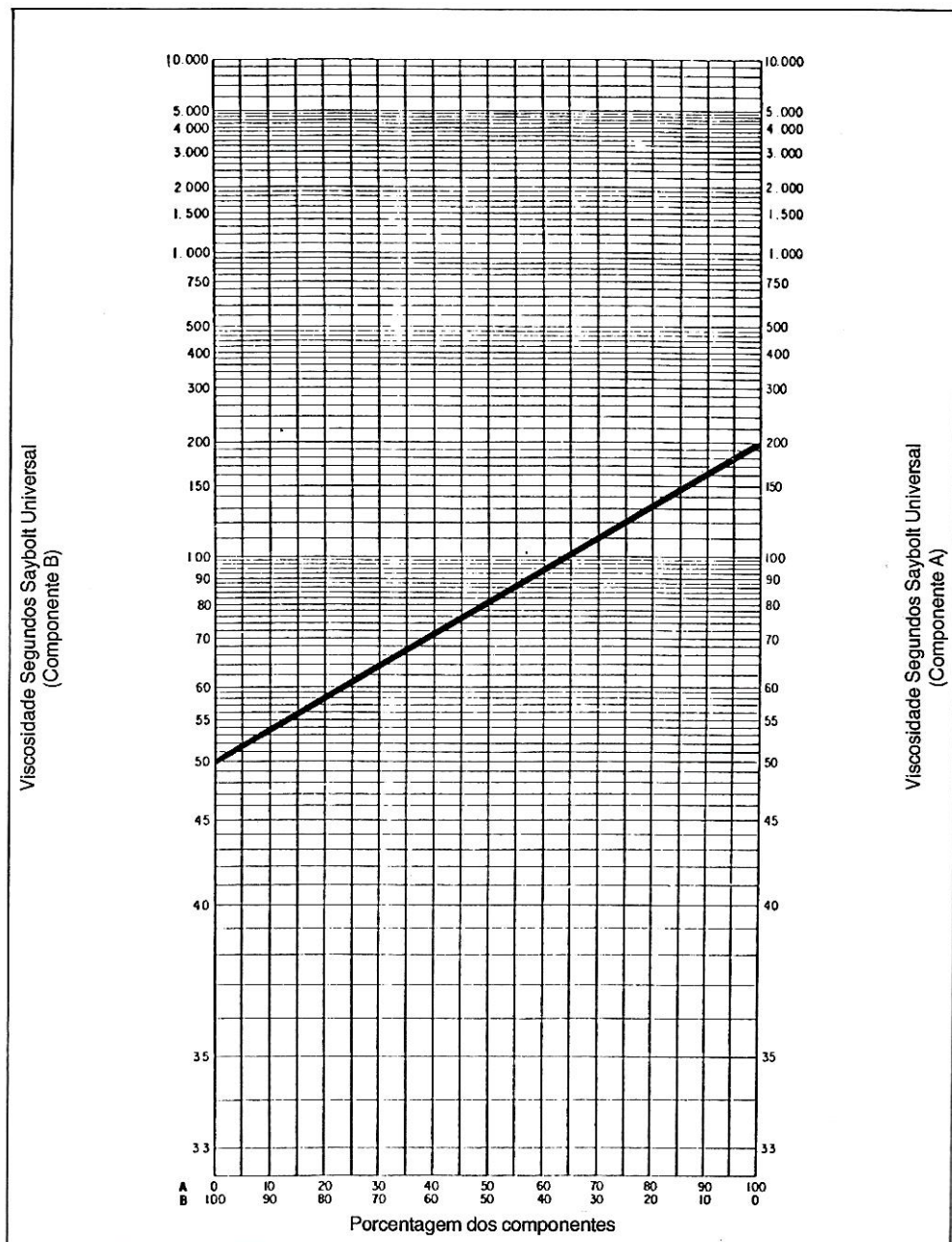


Altitude		Pressão atmosférica		
ft	m	psia	in Hg a (32°F)	kgf/cm ² a
0	0	14,696	29,92	1,03323
100	30,5	14,64	29,81	1,02929
200	61,0	14,59	29,71	1,02578
300	91,4	14,54	29,60	1,02226
400	121,9	14,48	29,49	1,01804
500	152,4	14,43	29,38	1,01453
600	182,9	14,38	29,28	1,01101
700	213,4	14,33	29,17	1,00750
800	243,8	14,28	29,07	1,00398
900	274,3	14,22	28,96	0,99976
1000	304,8	14,17	28,86	0,99625
1200	365,8	14,07	28,65	0,98922
1400	426,7	13,97	28,44	0,98219
1600	487,7	13,87	28,23	0,97516
1800	548,6	13,76	28,02	0,96742
2000	609,6	13,66	27,82	0,96039
2200	670,6	13,56	27,62	0,95336
2400	731,5	13,47	27,42	0,94703
2600	792,5	13,37	27,21	0,9400
2800	853,4	13,27	27,02	0,93297
3000	914,4	13,17	26,82	0,92594
4000	1219,2	12,69	25,84	0,89219
6000	1828,8	11,78	23,98	0,82822
8000	2438,4	10,92	22,22	0,76775
10000	3048,0	10,11	20,58	0,71080
12000	3657,6	9,346	19,03	0,65709
14000	4267,2	8,633	17,58	0,60696
16000	4876,8	7,965	16,21	0,55999
18000	5486,4	7,339	14,94	0,51598
20000	6096,0	6,753	13,75	0,47478

Variação da pressão atmosférica com a altitude



Viscosidade da água e dos produtos de petróleo



**Carta para estimativa
da viscosidade de
mistura**

Valores médios de pH de líquidos

Ácido fórmico	2,3	Refrigerantes	2,0 a 4,0
Ácido cítrico	2,2	Leite de vaca	6,4
Ácido sulfúrico	0,3	Suco de laranja	3,5
Amônia	11,6	Vinagre	3,0
Carbonato de cálcio	9,4	Água	6,5 a 8,0
Carbonato de sódio	11,6	Vinho	2,8 a 3,8
Cerveja	4,5	Petróleo	7,0

Propriedade da água a várias temperaturas

Temperatura (°F)	Temperatura (°C)	Volume específico (ft³/lb) v _g	Densidade (d)			Peso específico (lb/ft³) ρ	Pressão de vapor (psia) P _v
			Referência 39,2°F	Referência 60°F	Referência 70°F		
40	4.4	.01602	1.000	1.001	1.002	62.42	0.1217
50	10.0	.01603	.999	1.001	1.002	62.38	0.1781
60	15.6	.01604	.999	1.000	1.001	62.34	0.2563
70	21.1	.01606	.998	.999	1.000	62.27	0.3631
80	26.7	.01608	.996	.998	.999	62.19	0.5069
90	32.2	.01610	.995	.996	.997	62.11	0.6982
100	37.8	.01613	.993	.994	.995	62.00	0.9492
120	48.9	.01620	.989	.990	.991	61.73	1.692
140	60.0	.01629	.983	.985	.986	61.39	2.889
160	71.1	.01639	.977	.979	.979	61.01	4.741
180	82.2	.01651	.970	.972	.973	60.57	7.510
200	93.3	.01663	.963	.964	.966	60.13	11.526
212	100.0	.01672	.958	.959	.960	59.81	14.696
220	104.4	.01677	.955	.956	.957	59.63	17.186
240	115.6	.01692	.947	.948	.949	59.10	24.97
260	126.7	.01709	.938	.939	.940	58.51	35.43
280	137.8	.01726	.928	.929	.930	58.00	49.20
300	148.9	.01745	.918	.919	.920	57.31	67.01
320	160.0	.01765	.908	.909	.910	56.66	89.66
340	171.1	.01787	.896	.898	.899	55.96	118.01
360	182.2	.01811	.885	.886	.887	55.22	153.04
380	193.3	.01836	.873	.874	.875	54.47	195.77
400	204.4	.01864	.859	.860	.862	53.65	247.31
420	215.6	.01894	.846	.847	.848	52.80	308.83
440	226.7	.01926	.832	.833	.834	51.92	381.59
460	237.8	.0196	.817	.818	.819	51.02	466.9
480	248.9	.0200	.801	.802	.803	50.00	566.1
500	260.0	.0204	.785	.786	.787	49.02	680.8
520	271.1	.0209	.765	.766	.767	47.85	812.4
540	282.2	.0215	.746	.747	.748	46.51	962.5
560	293.3	.0221	.726	.727	.728	45.3	1133.1
580	304.4	.0228	.703	.704	.704	43.9	1325.3
600	315.6	.0236	.678	.679	.680	42.3	1542.9
620	326.7	.0247	.649	.650	.650	40.5	1786.6
640	337.8	.0260	.617	.618	.618	38.5	2059.7
660	348.9	.0278	.577	.577	.578	36.0	2365.4
680	360.0	.0305	.525	.526	.527	32.8	2708.1
700	371.1	.0369	.431	.435	.435	27.1	3093.7
705.4	374.1	.0503	.319	.319	.320	19.9	3206.2

Dimensões básicas em relação ao sistema de unidades

	SI	Absoluto	Técnico	Inglês Eng.	Inglês Téc.
Comprimento (<i>L</i>)	metro [m]	centímetro [cm]	metro [m]	pé [ft]	pé [ft]
Massa (<i>M</i>)	quilograma [kg]	grama [g]	unidade técnica de massa [utm]	slug	libra-massa [lbm]
Tempo (<i>t</i>)	segundo [s]	segundo [s]	segundo [s]	segundo [s]	segundo [s]
Temperatura (<i>T</i>)	kelvin [K]	kelvin [K]	kelvin [K]	Rankine [°R]	Rankine [°R]
Força (<i>F</i>)	Newton [N]	Dina [dyn]	quilograma força [kgf]	libra-força [lbf]	libra-força [lbf]

Unidades SI e prefixos

Unidades SI	Quantidade	Unidade	Símbolo SI	Fórmula
Unidades básicas SI:	Comprimento	metro	m	—
	Massa	quilograma	kg	—
	Tempo	segundo	s	—
	Temperatura	kelvin	K	—
Unidade complementar SI:	Ângulo plano	radiano	rad	—
Unidades derivadas SI:	Energia	joule	J	N · m
	Força	newton	N	kg · m/s²
	Potência	watt	W	J/s
	Pressão	pascal	Pa	N/m²
	Trabalho	joule	J	N · m

Prefixos SI	Fator de Multiplicação	Prefixo	Símbolo SI
	1 000 000 000 000 = 10 ¹²	tera	T
	1 000 000 000 = 10 ⁹	giga	G
	1 000 000 = 10 ⁶	mega	M
	1 000 = 10 ³	quilo	k
	0,01 = 10 ⁻²	centi ^o	c
	0,001 = 10 ⁻³	mili	m
	0,000 001 = 10 ⁻⁶	micro	μ
	0,000 000 001 = 10 ⁻⁹	nano	n
	0,000 000 000 001 = 10 ⁻¹²	pico	p

Fatores de conversão de definições

Dimensão Fundamental	Unidade Inglesa	Valor SI Exato	Valor SI Aproximado
Comprimento	1 pol.	0,0254 m	—
Massa	1 lbm	0,453 592 37 kg	0,454 kg
Temperatura	1°F	5/9 K	—
Definições:			
Aceleração da gravidade:	$g = 9,8066 \text{ m/s}^2$ (= 32,174 pés/s ²)		
Energia:	Btu (unidade térmica britânica) = quantidade de energia requerida para aumentar a temperatura de 1 lbm de água de 1°F (1 Btu = 778,2 pés · lbf)		
	quilocaloria = quantidade de energia requerida para aumentar a temperatura de 1 kg de água de 1 K (1 kcal = 4187 J)		
Comprimento:	1 milha = 5280 pés; 1 milha náutica = 6076,1 pés = 1852 m (exato)		
Potência:	1 horsepower = 550 pés · lbf/s		
Pressão:	1 bar = 10 ⁵ Pa		
Temperatura:	grau Fahrenheit, $T_F = \frac{9}{5} T_C + 32$ (T_C em graus Celsius)		
	grau Rankine, $T_R = T_F + 459,67$		
	Kelvin, $T_K = T_C + 273,15$ (exato)		
Viscosidade:	1 Poise = 0,1 kg/(m · s)		
	1 Stoke = 0,0001 m ² /s		
Volume:	1 gal = 231 pol. ³ (1 pé ³ = 7,48 gal)		
Fatores de Conversão Úteis:			
	1 lbf = 4,448 N		
	1 lbf/pol. ² = 6895 Pa		
	1 Btu = 1055 J		
	1 hp = 746 W = 2545 Btu/h		
	1 kW = 3413 Btu/h		
	1 quarto = 0,000946 m ³ = 0,946 litro		
	1 kcal = 3,968 Btu		