Engenharia

TABELAS DE TERMODINÂMICA

Paulo Coelho

4.ª edição atualizada

LIDEL

Tabelas de Termodinâmica

Paulo Coelho

4.ª Edição Atualizada

Lidel – Edições Técnicas, Lda.
www.lidel.pt

Índice Geral

Sobre o Autor V

Prefácio VI

Nomenclatura VII

Tabela 1 Massa molar, constante do gás, pontos crítico e triplo e propriedades a 1 atm 1

Tabela 2 Água (H_2O) saturada, entrada por temperatura 3

Tabela 3 Água (H_2O) saturada, entrada por pressão 6

Tabela 4 Água (H_2O), vapor sobreaquecido-líquido comprimido 9

Tabela 5 Água (H_2O), sólido saturado-vapor saturado 32

Tabela 6 R134a (CF_3CH_2F) saturado, entrada por temperatura 34

Tabela 7 R134a (CF_3CH_2F) saturado, entrada por pressão 36

Tabela 8 R134a (CF_3CH_2F), vapor sobreaquecido-líquido comprimido 38

Tabela 9 R245fa ($C_3H_3F_5$) saturado, entrada por temperatura 46

Tabela 10 R245fa ($C_3H_3F_5$) saturado, entrada por pressão 48

Tabela 11 R245fa ($C_3H_3F_5$), vapor sobreaquecido-líquido comprimido 51

Tabela 12 R404a (mistura de R125, R143a e R134a com percentagens mássicas de 44%, 52% e 4%) saturado, entrada por temperatura 67

Tabela 13 R404a (mistura de R125, R143a e R134a com percentagens mássicas de 44%, 52% e 4%) saturado, entrada por pressão 69

Tabela 14 R404a (mistura de R125, R143a e R134a com percentagens mássicas de 44%, 52% e 4%) vapor sobreaquecido 71

Tabela 15 R600 (n-butano, C_4H_{10}) saturado, entrada por temperatura 83

Tabela 16 R600 (n-butano, C_4H_{10}) saturado, entrada por pressão 85

Tabela 17 R600 (n-butano, C_4H_{10}), vapor sobreaquecido-líquido comprimido 88

Tabela 18 R717 (amónia, NH_3) saturada, entrada por temperatura 104

Tabela 19 R717 (amónia, NH_3), vapor sobreaquecido 106

Tabela 20 R744 (dióxido de carbono, CO_2) saturado, entrada por temperatura 115

Tabela 21 R744 (dióxido de carbono, CO_2) saturado, entrada por pressão 117

Tabela 22 R744 (dióxido de carbono, CO_2), vapor sobreaquecido-líquido comprimido 120

Tabela 23 R12 (CCl_2F_2) saturado, entrada por temperatura 132

Tabela 24 R12 (CCl_2F_2), vapor sobreaquecido 134

© Lidel – Edições Técnicas

Tabela 25	R22 ($CHClF_2$) saturado, entrada por temperatura	140
Tabela 26	R22 ($CHClF_2$), vapor sobreaquecido	142
Tabela 27	Propano (C_3H_8) saturado, entrada por temperatura	152
Tabela 28	Isobutano (C_4H_{10}) saturado, entrada por temperatura	154
Tabela 29	Ar gás real, vapor sobreaquecido	156
Tabela 30	Propriedades do ar, gás perfeito – (u^+, h^+, s^0, P_r, v_r)	162
Tabela 31	Propriedades do azoto (N_2), gás perfeito – (u^+, h^+, s^0, P_r, v_r)	164
Tabela 32	Propriedades do oxigénio (O_2), gás perfeito – (u^+, h^+, s^0, P_r, v_r)	166
Tabela 33	Propriedades do dióxido de carbono (CO_2), gás perfeito – (u^+, h^+, s^0, P_r, v_r)	168
Tabela 34	Propriedades do monóxido de carbono (CO), gás perfeito – (u^+, h^+, s^0, P_r, v_r)	170
Tabela 35	Propriedades do hidrogénio (H_2), gás perfeito – (u^+, h^+, s^0, P_r, v_r)	172
Tabela 36	Propriedades do vapor de água (H_2O), gás perfeito – (u^+, h^+, s^0, P_r, v_r)	174
Tabela 37	Propriedades do monóxido de azoto (NO), gás perfeito – (u^+, h^+, s^0, P_r, v_r)	176
Tabela 38 A	Calores específicos a pressão constante, C_p, de vários gases perfeitos	178
Tabela 38 B	Calores específicos a pressão constante, C_p, de vários gases perfeitos	179
Tabela 38 C	Calores específicos a pressão constante, C_p, de vários gases perfeitos	180
Tabela 38 D	Calores específicos a pressão constante, C_p, de vários gases perfeitos	181
Tabela 39 A	Calores específicos médios a pressão constante, C_p, de vários gases perfeitos	182
Tabela 39 B	Calores específicos médios a pressão constante, C_p, de vários gases perfeitos	184
Tabela 40	Propriedades do ar a 1 atm – (ρ, C_p, μ, ν, κ, Pr, U_{som}, β)	186
Tabela 41	Propriedades de vários gases a 1 atm – (ρ, C_p, μ, ν, κ, Pr, U_{som}, β)	188
Tabela 42	Propriedades da água (H_2O) líquido saturado – (ρ, C_p, μ, σ, κ, Pr, U_{som}, β)	193
Tabela 43	Propriedades de vários líquidos saturados – (ρ, C_p, μ, ν, κ, Pr, σ, β)	195
Tabela 44	Propriedades de vários metais – (ρ, C_p, κ, α, β, $\Delta L/L_{@\approx 20\,^{\circ}C}$)	201
Tabela 45	Logaritmos de base *e* da constante de equilíbrio K_P	214
Tabela 46	Coeficientes de difusão binários, $\mathcal{D}$, para gases, em ar e azoto	216
Tabela 47	Entalpia e energia interna absolutas de vários gases combustíveis (gases perfeitos)	217
Tabela 48	Poderes caloríficos de diversos combustíveis	220
Conversão de unidades		221
Referências bibliográficas		222
Glossário		223

© Lidel – Edições Técnicas

Sobre o Autor

Paulo Coelho

Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, tendo entrado para o departamento como assistente estagiário em 1987. Aí lecionou as unidades curriculares de Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos, Transferência de Calor, Máquinas Térmicas, Rede de Gás, Combustão e Laboratórios. A sua atividade de investigação, realizada no Centro de Estudos de Fenómenos de Transporte, incide essencialmente sobre estudos experimentais de escoamentos de fluidos não-newtonianos e estudos analíticos de transferência de calor no interior de condutas. A experiência letiva permitiu constatar algumas possibilidades de melhoria das tabelas de termodinâmica existentes, por seu lado, o programa Enginnering Equation Solver (EES) da F-Chart, possibilitou a elaboração das presentes tabelas e deste modo a materialização dessas melhorias.

© Lidel – Edições Técnicas

Prefácio

A motivação para a realização destas tabelas de termodinâmica surgiu, em parte, de conversas com alunos, através das quais constatei haver uma necessidade de tabelas que incluíssem valores tabelados da energia interna e também propriedades dos novos fluidos usados nos sistemas de refrigeração, isentos de clorofluorcarbonetos e não prejudiciais à camada de ozono. Obviamente que tabelas com estas características existem no mercado em abundância, simplesmente, regra geral, só se utilizam metade destas tabelas, pois a outra metade é uma repetição da anterior em unidades inglesas. Uma tabela exclusivamente em unidades do sistema internacional (SI) é a de Kuzman Raznjevic (1970)[1], que, embora sendo uma excelente coletânea de propriedades das substâncias, e por isso profusamente utilizada no Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, enferma dos dois defeitos referidos anteriormente.

As presentes tabelas só foram possíveis de realizar devido ao programa *Engineering Equation Solver* (EES), de A. Klein e F.L. Alvarado, que integra as propriedades de inúmeras substâncias, apresentando-se aqui apenas uma pequena parte. Este programa é uma ferramenta indispensável a quem realize cálculos nas áreas da termodinâmica ou da transferência de calor.

Na realização destas tabelas, procurou-se incluir as propriedades dos fluidos mais utilizadas nas cadeiras de Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor, bem como as propriedades de alguns materiais utilizados em cadeiras de Termodinâmica e Transferência de Calor. O objetivo foi o de munir o aluno de informação com que possa resolver problemas na área da termodinâmica e, igualmente importante, facultar a possibilidade do leitor ficar com uma ideia do valor das diversas propriedades das substâncias mais comuns no dia a dia nas fases sólida, líquida e gasosa; tudo isto sem estender em demasia o conjunto de tabelas, para assim evitar um excesso de informação que podia revelar-se contraproducente. Propriedades bastante completas de uma enorme variedade de substâncias, bem como outras informações de interesse para a Engenharia podem encontrar-se no programa EES.

A experiência do autor a lecionar cadeiras, e sobretudo a corrigir exames, na área da termodinâmica contribuiu para desenvolver uma nova forma de apresentar as tabelas de vapor sobreaquecido-líquido comprimido, tendo em vista evitar o erro frequente de se realizar interpolações entre dois pontos situados um em cada uma das duas regiões citadas.

Uma outra vantagem destas tabelas é a de futuramente, e sempre que possível, poderem ser melhoradas e alteradas em função das sugestões e necessidades que venham a surgir, permitindo que consigam satisfazer cada vez melhor as necessidades dos seus utilizadores.

Nesta 4.ª edição foram inseridas tabelas de vapor húmido e de vapor sobreaquecido-líquido comprimido para o R744 (dióxido de carbono), fluido cada vez mais usado em ciclos de refrigeração.

Nomenclatura

Notas

Nas tabelas de vapor sobreaquecido-líquido comprimido são usadas linhas horizontais a tracejado para assinalar a separação das propriedades dos pontos de líquido saturado e vapor saturado, também eles presentes nas referidas tabelas. Entre estes dois pontos, podem-se também realizar interpolações lineares.

O calor específico a volume constante, C_v, não é tabelado, pois para gases perfeitos, este está relacionado com o calor específico a pressão constante, C_p, por intermédio da constante do gás, R, através da expressão $C_v = C_p - R$, e para substâncias incompressíveis, como sejam os sólidos e os líquidos, temos que $C_v \approx C_p$.

A pressão correspondente, P_r, e o volume específico correspondente, v_r, são utilizados quando, nos cálculos termodinâmicos com gases perfeitos, se quer atender à variação do calor específico com a temperatura. P_r e v_r só podem ser utilizados em processos isentrópicos. s^0 é a componente da entropia de um gás perfeito que depende da temperatura, sendo calculada a partir de uma temperatura de referência, $T_{ref.}$, atendendo à variação dos calores específicos com a temperatura. A dedução e exemplos de utilização destas propriedades pode ser vista em [2] e [3], nos capítulos relativos à entropia.

Símbolos

C_p	Calor específico a pressão constante [kJ/(kg·K)]
C_v	Calor específico a volume constante [kJ/(kg·K)]
h	Entalpia [kJ/kg]
M	Massa molecular [kg/kmol]
P	Pressão absoluta [kPa]
PCI	Poder calorífico inferior [kJ/kg]
PCS	Poder calorífico superior [kJ/kg]
P_r	Pressão correspondente $P_r = \exp(s^0 / R)$, [-]
R	Constante particular do gás $R = \overline{R}/M$, [kJ/(kg·K)]
$\overline{R}$	Constante universal dos gases $\overline{R} = 8{,}31446$ [kJ/(kmol·K)]
s	Entropia [kJ/kg·K]
s^0	$s^0 = \int_{T_{ref}}^{T} C_p(T) \frac{dT}{T}$ [kJ/kg·K]
T	Temperatura [ºC]
u	Energia interna [kJ/kg]
v	Volume específico [m³/kg]
v_r	Volume específico correspondente $v_r = T/Pr$, [-]

© Lidel – Edições Técnicas

Tabela 1 – Massa molar, constante do gás, pontos crítico e triplo e propriedades a 1 atm*

Substância	Fórmula química	Massa Molar kg/kmol	Constante do gás, R J/(kg·K)	C_p de gás perfeito a 300K kJ/(kg·K)	$C_p/C_v=k$ gás perfeito a 300 K	Ponto crítico			"Ponto triplo"		Propriedades a 1 atm			
						Temp. K (°C)	Pressão MPa	Volume m^3/kg	Temp. °C	Pressão kPa	h_{if} kJ/kg	h_{fg} kJ/kg	T_{sat} °C	C_p líquido à T_{sat}. kJ/(kg·K)
Água	H_2O	18,02	461,5	1,865	1,329	647,1 (373,9)	22,06	0,003106	0,01	0,6117	333,6	2257	100,0	4,217
Amónia (R717)	NH_3	17,03	488,2	2,095	1,304	405,4 (132,3)	11,33	0,004444	-77,67■	6,0630■	332,4	1369	-33,3	4,448
Ar	-	28,96	287,1	1,005	1,400	132,5 (-140,6)	3,786	0,002917	-	-		204,9	-192,9+	1,933
Árgon	Ar	39,95	208,1	0,5203	1,667	150,7(-122,5)	4,863	0,001867	-189,3	68,96●	28,04	161,1	-185,8	1,117
Azoto	N_2	28,013	296,8	1,041	1,399	126,2 (-147)	3,398	0,003194	-210,00	12,53	25,35	198,8	-195,8	2,042
Crípton	Kr	83,804	99,21	0,248	1,667	209,4 (-63,72)	5,51	0,001101	-157,38	73,2●	-	107,5	-153,4	0,5221
Dióxido de carbono (R744)	CO_2	44,01	188,9	0,8458	1,288	304,1 (30,98)	7,377	0,002139	-56,57■	518,50■	-	-	-78($_{isubl.}$)	-
Etano (R170)	C_2H_6	30,070	276,5	1,748	1,188	305,3 (32,18)	4,872	0,00484	-182,78	0,001141■	95,11	489,3	-88,6	2,426
Etanol	C_2H_5OH	46,069	180,5	1,535	1,133	513,9 (240,8)	6,148	0,003623	-114,05	-	109	849,1	78,3	3,113
Etileno (R1150)	C_2H_4	28,054	296,4	1,534	1,240	282,3 (9,2)	5,04	0,004669	-169,16	0,12200■	119,4	482,2	-103,8	2,393
Hélio	He	4,003	2077	5,193	1,667	5,195 (-268)	0,2275	0,01436	-270,97	5,042	-	20,72	-268,9	5,227
Hidrogénio	H_2	2,016	4124	14,31	1,405	33,19 (-240)	1,315	0,03321	-259,19	7,789	59,53	445,7	-252,8	9,739
Isobutano (R600a)	C_4H_{10}	58,122	143	1,671	1,094	407,8 (134,7)	3,64	0,004457	-159,59	1,948E-5■	78,11	365,9	-11,7	2,236
Isopentano	C_5H_{12}	72,151	115,2	1,656	1,075	460,4 (187,2)	3,37	0,004237	-160,50	-	71,38	342,5	27,9	2,278
Metano (R50)	CH_4	16,043	518,3	2,230	1,303	190,6 (-82,59)	4,599	0,006148	-182,46	11,696■	58,59	510,8	-161,5	3,481
Metanol	CH_3OH	32,042	259,5	1,378	1,232	513,4 (240,2)	8,104	0,003552	-97,54	0,000179	99,24	1102	65,0	2,831
Monóxido de carbono	CO	28,01	296,9	1,038	1,400	132,8 (-140,4)	3,494	0,003292	-205,02	15,43	29,64	214,3	-191,5	2,278

(continua)

© Lidel – Edições Técnicas

Tabela 8 – R134a (CF_3CH_2F), vapor sobreaquecido-líquido comprimido* (continuação)

P=200 kPa ($T_{sat.}$= -10,09 °C)				
T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
40	0,12323	263,08	287,72	1,0882
50	0,12766	271,15	296,68	1,1163
60	0,13206	279,37	305,78	1,1441
70	0,13641	287,73	315,01	1,1714
80	0,14074	296,25	324,40	1,1983
90	0,14505	304,92	333,93	1,2249
100	0,14933	313,74	343,60	1,2512
110	0,15359	322,71	353,43	1,2772
120	0,15783	331,84	363,40	1,3029
130	0,16206	341,11	373,52	1,3283
140	0,16628	350,54	383,80	1,3535
150	0,17048	360,12	394,22	1,3784
160	0,17468	369,85	404,79	1,4031
170	0,17886	379,74	415,51	1,4276
180	0,18304	389,77	426,37	1,4518

P=240 kPa ($T_{sat.}$= -5,38 °C)				
T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
40	0,10193	262,59	287,06	1,0718
50	0,10570	270,71	296,08	1,1001
60	0,10942	278,97	305,23	1,1280
70	0,11310	287,36	314,51	1,1554
80	0,11675	295,91	323,93	1,1825
90	0,12038	304,60	333,49	1,2092
100	0,12398	313,44	343,20	1,2356
110	0,12756	322,44	353,05	1,2616
120	0,13113	331,58	363,05	1,2874
130	0,13468	340,87	373,20	1,3129
140	0,13822	350,32	383,49	1,3381
150	0,14175	359,91	393,93	1,3631
160	0,14526	369,65	404,52	1,3878
170	0,14877	379,54	415,25	1,4123
180	0,15227	389,58	426,13	1,4366

P=280 kPa ($T_{sat.}$= -1,25 °C)				
T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
-70	0,000666	-37,02	-36,83	-0,1697
-60	0,000678	-24,86	-24,67	-0,1113
-50	0,000691	-12,57	-12,37	-0,0549
-40	0,000705	-0,11	0,08	-0,0003
-30	0,000720	12,51	12,72	0,0527
-20	0,000736	25,33	25,54	0,1044
-10	0,000753	38,36	38,57	0,1549
-1,25	0,000770	49,97	50,18	0,1983
-1,25	0,07235	229,46	249,72	0,9321
0	0,07282	230,44	250,83	0,9362
10	0,07646	238,27	259,68	0,9680
20	0,07997	246,13	268,52	0,9987
30	0,08338	254,06	277,41	1,0285
40	0,08672	262,10	286,38	1,0576
50	0,09000	270,27	295,47	1,0862
60	0,09324	278,56	304,67	1,1142
70	0,09644	286,99	314,00	1,1418
80	0,09961	295,57	323,46	1,1690
90	0,10275	304,29	333,06	1,1958
100	0,10587	313,15	342,80	1,2222

P=320 kPa ($T_{sat.}$= 2,46 °C)				
T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
-70	0,000666	-37,03	-36,81	-0,1698
-60	0,000678	-24,87	-24,66	-0,1114
-50	0,000691	-12,58	-12,36	-0,0550
-40	0,000705	-0,13	0,10	-0,0004
-30	0,000720	12,50	12,73	0,0527
-20	0,000736	25,31	25,55	0,1043
-10	0,000753	38,34	38,59	0,1548
0	0,000772	51,61	51,86	0,2043
2,46	0,000777	54,92	55,16	0,2164
2,46	0,06360	231,52	251,88	0,9301
10	0,066087	237,54	258,69	0,9544
20	0,069251	245,50	267,66	0,9856
30	0,072313	253,50	276,65	1,0157
40	0,075299	261,60	285,70	1,0451
50	0,078226	269,82	294,85	1,0739
60	0,081105	278,15	304,11	1,1021
70	0,083946	286,62	313,48	1,1298
80	0,086754	295,22	322,98	1,1571
90	0,089535	303,97	332,62	1,1840
100	0,092292	312,86	342,39	1,2105

(continua)

© Lidel – Edições Técnicas

Tabela 22 – R744 (dióxido de carbono, CO_2), vapor sobreaquecido-líquido comprimido* (continuação)

P= 11000 kPa ($T_{crítica}$= 30,98 °C)				
T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
10	0,001077	-301,36	-289,51	-1,7060
15	0,001112	-290,09	-277,85	-1,6652
20	0,001152	-278,31	-265,64	-1,6232
25	0,001201	-265,86	-252,65	-1,5793
30	0,001262	-252,45	-238,56	-1,5324
35	0,001344	-237,62	-222,83	-1,4809
40	0,001463	-220,49	-204,40	-1,4216
45	0,001658	-199,55	-181,32	-1,3485
50	0,001989	-174,29	-152,41	-1,2584
55	0,002410	-150,51	-124,00	-1,1711
60	0,002795	-132,60	-101,85	-1,1041
65	0,003121	-118,98	-84,64	-1,0528
70	0,003404	-107,92	-70,47	-1,0112
75	0,003656	-98,45	-58,23	-0,9758
80	0,003885	-90,03	-47,29	-0,9446
85	0,004097	-82,36	-37,29	-0,9165
90	0,004296	-75,23	-27,98	-0,8907
95	0,004483	-68,53	-19,22	-0,8667
100	0,004661	-62,15	-10,88	-0,8442
110	0,004996	-50,15	4,81	-0,8027
120	0,005308	-38,86	19,53	-0,7648
130	0,005603	-28,09	33,54	-0,7296
140	0,005884	-17,69	47,04	-0,6965
150	0,006154	-7,56	60,13	-0,6652
160	0,006414	2,35	72,90	-0,6354
170	0,006666	12,10	85,43	-0,6068
180	0,006912	21,73	97,77	-0,5792
190	0,007152	31,27	109,94	-0,5527
200	0,007387	40,73	121,99	-0,5269
210	0,007617	50,15	133,93	-0,5019
220	0,007843	59,52	145,80	-0,4776
230	0,008066	68,87	157,59	-0,4540
240	0,008286	78,20	169,34	-0,4308

P= 11500 kPa ($T_{crítica}$= 30,98 °C)				
T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
10	0,001073	-302,21	-289,87	-1,7092
15	0,001107	-291,08	-278,35	-1,6689
20	0,001145	-279,50	-266,32	-1,6275
25	0,001192	-267,32	-253,62	-1,5845
30	0,001249	-254,32	-239,96	-1,5391
35	0,001322	-240,16	-224,95	-1,4900
40	0,001424	-224,25	-207,88	-1,4350
45	0,001578	-205,65	-187,51	-1,3705
50	0,001822	-183,69	-162,73	-1,2933
55	0,002165	-160,68	-135,78	-1,2105
60	0,002527	-141,27	-112,21	-1,1392
65	0,002850	-126,16	-93,39	-1,0831
70	0,003134	-114,01	-77,97	-1,0378
75	0,003386	-103,75	-64,81	-0,9997
80	0,003615	-94,74	-53,17	-0,9665
85	0,003826	-86,61	-42,61	-0,9369
90	0,004023	-79,12	-32,86	-0,9098
95	0,004208	-72,12	-23,72	-0,8848
100	0,004384	-65,49	-15,08	-0,8615
110	0,004713	-53,08	1,11	-0,8187
120	0,005019	-41,50	16,22	-0,7798
130	0,005307	-30,48	30,55	-0,7438
140	0,005581	-19,89	44,29	-0,7101
150	0,005843	-9,60	57,60	-0,6783
160	0,006096	0,45	70,56	-0,6480
170	0,006342	10,32	83,25	-0,6190
180	0,006580	20,06	95,73	-0,5912
190	0,006812	29,68	108,02	-0,5643
200	0,007039	39,23	120,18	-0,5384
210	0,007262	48,72	132,23	-0,5132
220	0,007481	58,16	144,19	-0,4887
230	0,007696	67,56	156,07	-0,4648
240	0,007908	76,95	167,89	-0,4415

(continua)

© Lidel – Edições Técnicas

Tabela 41 – Propriedades de vários gases a 1 atm – (ρ, C_p, μ, ν, κ, Pr, U_{som}, β)*

Temperatura T °C	Massa volúmica ρ kg/m³	Calor específico C_p J/(kg·K)	Viscosidade dinâmica μ Pa·s	Viscosidade cinemática ν m²/s	Condutividade térmica κ W/(m·°C)	Número de Prandtl Pr	Velocidade do som m/s	Coef. expansão térmica $\beta \approx \frac{1}{\nu}\frac{\Delta \nu}{\Delta T}$, 1/K
Água (H_2O)								
25**	0,023	1912	9,867E-06	4,276E-04	0,0186	1,017	426,4	3,395E-03
50**	0,083	1947	1,062E-05	1,277E-04	0,0204	1,015	443,2	3,169E-03
100**	0,598	2080	1,227E-05	2,051E-05	0,0251	1,017	472,3	2,900E-03
110	0,581	2044	1,264E-05	2,177E-05	0,0258	1,002	533,7	2,160E-03
150	0,523	1986	1,418E-05	2,710E-05	0,0289	0,976	560,5	1,938E-03
200	0,466	1976	1,618E-05	3,468E-05	0,0333	0,960	585,7	1,761E-03
250	0,421	1990	1,822E-05	4,327E-05	0,0382	0,950	609,5	1,616E-03
300	0,384	2013	2,029E-05	5,284E-05	0,0434	0,940	632,2	1,493E-03
350	0,353	2040	2,237E-05	6,338E-05	0,0490	0,932	653,8	1,388E-03
400	0,327	2070	2,445E-05	7,487E-05	0,0548	0,924	674,6	1,297E-03
450	0,304	2102	2,652E-05	8,727E-05	0,0608	0,917	694,6	1,218E-03
500	0,284	2134	2,858E-05	1,006E-04	0,0670	0,911	713,9	1,148E-03
Amónia (NH_3)								
-25	0,856	2250	8,331E-06	9,730E-06	0,0214	0,877	393,6	4,470E-03
0	0,772	2179	9,193E-06	1,192E-05	0,0229	0,874	414,3	3,901E-03
25	0,704	2164	1,009E-05	1,435E-05	0,0249	0,876	433,0	3,498E-03
50	0,647	2176	1,102E-05	1,703E-05	0,0274	0,876	450,4	3,187E-03
75	0,600	2203	1,197E-05	1,996E-05	0,0302	0,872	466,7	2,935E-03
100	0,559	2239	1,293E-05	2,314E-05	0,0334	0,866	482,2	2,724E-03
125	0,523	2280	1,390E-05	2,657E-05	0,0370	0,858	496,9	2,544E-03
150	0,492	2326	1,487E-05	3,024E-05	0,0407	0,850	510,9	2,388E-03
175	0,464	2375	1,585E-05	3,414E-05	0,0446	0,843	524,4	2,250E-03
200	0,440	2426	1,682E-05	3,828E-05	0,0487	0,838	537,5	2,128E-03
225	0,417	2479	1,779E-05	4,264E-05	0,0528	0,835	550,1	2,019E-03
250	0,397	2533	1,876E-05	4,722E-05	0,0569	0,835	562,3	1,921E-03
Azoto (N_2)								
-50	1,532	1043	1,437E-05	9,380E-06	0,0203	0,740	304,4	4,509E-03
-25	1,377	1043	1,568E-05	1,139E-05	0,0222	0,738	321,1	4,048E-03
0	1,250	1042	1,693E-05	1,354E-05	0,0240	0,736	336,9	3,673E-03
25	1,145	1042	1,814E-05	1,584E-05	0,0258	0,734	352,0	3,363E-03
50	1,056	1043	1,930E-05	1,827E-05	0,0275	0,733	366,5	3,101E-03
75	0,980	1043	2,042E-05	2,082E-05	0,0291	0,732	380,3	2,877E-03
100	0,915	1044	2,149E-05	2,349E-05	0,0307	0,731	393,7	2,683E-03
125	0,857	1046	2,252E-05	2,628E-05	0,0323	0,730	406,5	2,514E-03
150	0,807	1048	2,352E-05	2,916E-05	0,0338	0,729	418,9	2,365E-03
175	0,762	1050	2,448E-05	3,215E-05	0,0354	0,728	430,9	2,233E-03
200	0,721	1054	2,541E-05	3,522E-05	0,0368	0,727	442,5	2,114E-03
225	0,685	1057	2,630E-05	3,839E-05	0,0383	0,726	453,7	2,008E-03

(continua)

© Lidel – Edições Técnicas

Conversão de unidades

Dimensão	Relação entre unidades	Definições
Energia	1 kJ = 1000 J = 1000 Nm = 1000 Pa•m^3 1 kJ/kg = 1000 m^2/s^2 1 kcal (IT)* = 4,1868 kJ 1 kWh = 3600 kJ = 859,85 kcal (IT)* = 3412,14 BTU 1 therm = 10^5 BTU = 1,055×10^5 kJ	ΔT – diferença de temperatura at – atmosfera técnica atm – atmosfera normal (física) BTU – british thermal unit cal – caloria cm – centímetro CV – cavalo-vapor h – hora hp – horse power J – joule K – grau Kelvin Kg – quilograma Lb – libra m – metro N – newton °C – grau Celsius °F – grau Fahrenheit Pa – pascal R – grau Rankine s – segundo *T* – temperatura W – watt
Força	1 N = 1 kg × m/s^2 1 kgf = 9,80665 N 1 Lb = 4,44822 N	
Potência	1 W = 1 J/s 1 kW = 1000 W = 1,314 hp = 0,947817 BTU/s 1 BTU/h = 1,055056 kJ/h 1 hp = 745,7 W 1 CV = 735,5 W	
Pressão	1 Pa = 1 N/m^2 1 kg/m^3 × m/s^2 × m = 1 Pa 1 MPa = 1000 KPa= 10^6 Pa 1 bar = 10^5 Pa = 100 kPa 1 at = 1 kgf/cm^2 = 0,980665 bar = 98,0665 kPa 1 atm = 1,01325 bar= 101,325 kPa = 760 mmHg a 0 °C	
Temperatura	T(K) = T(°C) + 273,15 ΔT(K) = ΔT(°C) T(°F) = 1,8 × T(°C)+32 T(R) = T(°F) + 459,67 ΔT(R) = ΔT(°F) = 1,8×ΔT(K)	

*De acordo com Çengel e Boles (2002)[2], este valor de 4,1868 kJ corresponde à energia que é necessário fornecer a 1 quilograma de água a 15 °C para elevar a sua temperatura de 1 grau. Ainda segundo os mesmos autores, a caloria com letra maiúscula, Cal, usada pelos nutricionistas, corresponde na realidade a 1 quilocaloria (1000 calorias).

© Lidel – Edições Técnicas

Glossário

Glossário de Termos Correspondentes em Português Europeu e Português do Brasil*

Português Europeu (PE)	Português do Brasil (PB)
Árgon	Argônio
Azoto	Nitrogênio
Constante do gás	Constante aparente do gás
Crípton	Criptônio
Difusibilidade térmica	Difusividade molecular do calor
Dióxido de azoto	Dióxido de nitrogénio
Hidroxilo	Hidroxila
Massa molar	Massa molecular (Nota: também se usa em PE, por vezes)
Monóxido de azoto	Óxido nítrico
Néon	Neônio
Ozono	Ozônio
Percentagem	Porcentagem
Vapor de água	Vapor d'água
Vapor sobreaquecido	Vapor superaquecido
Xénon	Xenônio

*Designa-se por Português Europeu a variante da língua falada em Angola, Cabo Verde, Guiné-Bissau, Moçambique, Portugal, São Tomé e Príncipe e Timor-Leste.

© Lidel – Edições Técnicas

TABELAS DE TERMODINÂMICA

4.ª edição atualizada

A obra *Tabelas de Termodinâmica*, nesta 4.ª edição atualizada, tem como objetivo munir os estudantes da área de fluidos e calor – público ao qual se destinam estas tabelas – com uma ferramenta que permite realizar cálculos com substâncias variadas e atuais e que minimiza a possibilidade de se cometerem erros aquando da realização de interpolações. Para a utilização destas tabelas fora do âmbito escolar é necessária a confirmação das propriedades por outras vias.

Na realização das tabelas apresentadas, procurou-se incluir as propriedades mais utilizadas nas áreas de termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor de uma grande variedade de substâncias, usadas quotidianamente nas referidas áreas, nas fases líquida, sólida e gasosa. Foi também introduzida uma nova forma de apresentar as tabelas de vapor sobreaquecido-líquido comprimido, tendo em vista evitar o erro frequente de se realizarem interpolações entre dois pontos situados um em cada uma das duas regiões citadas.

Em relação às edições anteriores, foram incluídas tabelas de vapor húmido e de vapor sobreaquecido-líquido comprimido para o R744 (dióxido de carbono), fluido cada vez mais usado em ciclos de refrigeração.

Pelo facto de serem feitas inteiramente no Sistema Internacional (SI), as presentes tabelas permitem incluir mais informação comparativamente com as tabelas existentes no mercado com origem em países anglo-saxónicos, onde normalmente o conteúdo está duplicado, como, por exemplo, em unidades SI e em unidades inglesas, dificultando a sua utilização.

Inclui glossário de termos correspondentes entre o português europeu e o português do Brasil.

Paulo Coelho
Professor Auxiliar no Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, desde 1987, nas áreas de Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos, Transferência de Calor, Máquinas Térmicas, Rede de Gás, Combustão e Laboratórios. Investigador no Centro de Estudos de Fenómenos de Transporte, sobre estudos experimentais de escoamentos de fluidos não-newtonianos e estudos analíticos de transferência de calor no interior de condutas.

LIDEL
ISBN 978-989-752-262-8
9 789897 522628
www.lidel.pt

Tabelas complementares disponíveis em **www.lidel.pt**