

Taxa de calor por condução	$q_{cd} = k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$
Taxa de calor por convecção	$q_{cv} = Ah(T_s - T_\infty)$
Taxa de calor emitido pela superfície	$q_e = A\epsilon\sigma T_s^4$
Taxa de calor absorvido pela superfície	$q_a = A\alpha\sigma T_{viz}^4$
Taxa de calor radiante	$q_{rd} = q_e - q_a$
Constante de Stephan-Boltzmann	$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
Taxa de calor radiante para superfícies cinzentas (Emissividade = Absortividade)	$q_{rd} = A\epsilon\sigma(T_s^4 - T_{viz}^4)$
Taxa de calor radiante para superfícies cinzentas (Emissividade = Absortividade) na forma linearizada	$q_{rd} = Ah_{rd}(T_s - T_{viz})$ $h_{rd} = \epsilon\sigma(T_s^* + T_{viz})(T_s^{*2} + T_{viz}^2)$
Resistência térmica por condução em superfície plana	$R_{t,cond} \equiv \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA}$
Resistência térmica por condução em superfície cilíndrica	$R_{t,cond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk}$
Resistência térmica por condução em superfície esférica	$R_{t,cond} = \frac{1}{4\pi k} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$
Resistência térmica por convecção	$R_{t,conv} \equiv \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA}$
Resistência térmica por radiação	$R_{t,rad} = \frac{T_s - T_{sur}}{q_{rad}} = \frac{1}{h_r A}$
Resistência térmica de contato	$R_{t,c}'' = \frac{T_A - T_B}{q_x''}$
MCG: tempo necessário para atingir-se determinada temperatura	$\frac{\rho Vc}{hA_s} \ln \frac{\theta_i}{\theta} = t$
MCG: temperatura atingida após passado determinado tempo	$\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \exp \left[- \left(\frac{hA_s}{\rho Vc} \right) t \right]$
Parede plana de espessura $2L$ Número de Biot $L_c \equiv L$ Cilindro longo $L_c \equiv r_o/2$ Esfera $L_c \equiv r_o/3$	$\frac{(L/kA)}{(1/hA)} = \frac{R_{t,cond}}{R_{t,conv}} = \frac{hL}{k} \equiv Bi$ $Bi = \frac{hL_c}{k} < 0.1$
Número de Fourier	$Fo \equiv \frac{\alpha t}{L_c^2}$
Efeitos espaciais – placa plana	No plano central ($x=0$) $\theta^* = \frac{T - T_\infty}{T_0 - T_\infty} = \frac{4 \text{sen} \lambda_1}{2\lambda_1 + \text{sen}(2\lambda_1)} e^{-\lambda_1^2 Fo}$

Efeitos espaciais – cilindro Cilindro $\left \theta^* = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\lambda_n} \cdot \frac{J_1(\lambda_n)}{J_0^2(\lambda_n) + J_1^2(\lambda_n)} e^{-\lambda_n^2 Fo} J_0\left(\frac{\lambda_n r}{r_0}\right) \right.$	Na linha central (r=0) $\theta^* = \frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = \frac{2}{\lambda_1} \cdot \frac{J_1(\lambda_1)}{J_0^2(\lambda_1) + J_1^2(\lambda_1)} e^{-\lambda_1^2 Fo}$
Efeitos espaciais - esfera Esfera $\left \theta^* = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4(\sin \lambda_n - \lambda_n \cos \lambda_n)}{2\lambda_n - \sin(2\lambda_n)} e^{-\lambda_n^2 Fo} \frac{\sin(\lambda_n r/r_0)}{\lambda_n r/r_0} \right.$	No centro (r=0) $\theta^* = \frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = \frac{4(\sin \lambda_1 - \lambda_1 \cos \lambda_1)}{2\lambda_1 - \sin(2\lambda_1)} e^{-\lambda_1^2 Fo}$
Número de Reynolds – escoamento externo	$Re_x = \frac{\rho u_{\infty} x}{\mu}$ $Re_{x,c} \equiv \frac{\rho u_{\infty} x_c}{\mu} = 5 \times 10^5$
Número de Reynolds – escoamento interno	$Re_D \equiv \frac{\rho u_m D}{\mu} = \frac{u_m D}{\nu}$ $Re_{D,c} \approx 2300$ $Re_D = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu}$
Número de Prandtl	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$
Número de Nusselt	$Nu \equiv \frac{hL}{k_f}$ $\overline{Nu} = \frac{\overline{h}L}{k_f}$
Placa plana com escoamento cruzado – escoamento laminar e placa plana isotérmica	$Nu_x \equiv \frac{h_x x}{k} = 0,332 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \quad Pr \gtrsim 0,6$ $\overline{Nu}_x \equiv \frac{\overline{h}_x x}{k} = 0,664 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \quad Pr \gtrsim 0,6$
Placa plana com escoamento cruzado – escoamento laminar e placa plana isotérmica. Qualquer valor de Prandtl	$Nu_x = \frac{0,3387 Re_x^{1/2} Pr^{1/3}}{[1 + (0,0468/Pr)^{2/3}]^{1/4}} \quad \overline{Nu}_x = 2Nu_x$
Escoamento Turbulento sobre uma placa isotérmica	$Nu_x = 0,0296 Re_x^{4/5} Pr^{1/3} \quad 0,6 \lesssim Pr \lesssim 60$
Transição próxima à saída da placa (isotérmica): usar correlação de escoamento laminar (médio)	$0,95 \lesssim (x_c/L) \lesssim 1$
Escoamento misto sobre placa isotérmica	$\overline{Nu}_L = (0,037 Re_L^{4/5} - A) Pr^{1/3}$ $\left[\begin{array}{l} 0,6 \lesssim Pr \lesssim 60 \\ Re_{x,c} \lesssim Re_L \lesssim 10^8 \end{array} \right]$ $A = 0,037 Re_{x,c}^{4/5} - 0,664 Re_{x,c}^{1/2}$
Escoamento completamente turbulento sobre placa isotérmica	$\overline{Nu}_L = (0,037 Re_L^{4/5} - A) Pr^{1/3}$ $\left[\begin{array}{l} 0,6 \lesssim Pr \lesssim 60 \\ Re_{x,c} \lesssim Re_L \lesssim 10^8 \end{array} \right]$ $(Re_{x,c} = 0), A = 0$
Escoamento laminar sobre placa com fluxo térmico constante	$Nu_x = 0,453 Re_x^{1/2} Pr^{1/3} \quad Pr \gtrsim 0,6$
Escoamento turbulento sobre placa com fluxo térmico constante	$Nu_x = 0,0308 Re_x^{4/5} Pr^{1/3} \quad 0,6 \lesssim Pr \lesssim 60$

Escoamento externo cruzado em cilindro, médio, $Pr>0,7$ – Seção transversal circular (Hilpert)	$\overline{Nu}_D \equiv \frac{\bar{h}D}{k} = C Re_D^m Pr^{1/3}$<table><tr><th>$Re_D$</th><th>$C$</th><th>$m$</th></tr><tr><td>0.4–4</td><td>0.989</td><td>0.330</td></tr><tr><td>4–40</td><td>0.911</td><td>0.385</td></tr><tr><td>40–4000</td><td>0.683</td><td>0.466</td></tr><tr><td>4000–40,000</td><td>0.193</td><td>0.618</td></tr><tr><td>40,000–400,000</td><td>0.027</td><td>0.805</td></tr></table>	Re_D	C	m	0.4–4	0.989	0.330	4–40	0.911	0.385	40–4000	0.683	0.466	4000–40,000	0.193	0.618	40,000–400,000	0.027	0.805														
Re_D	C	m																															
0.4–4	0.989	0.330																															
4–40	0.911	0.385																															
40–4000	0.683	0.466																															
4000–40,000	0.193	0.618																															
40,000–400,000	0.027	0.805																															
Escoamento externo cruzado em cilindro, médio, $Pr>0,7$ – Seção transversal com diferentes geometrias (Hilpert)	<table><tr><th>Geometry</th><th>Re_D</th><th>C</th><th>m</th></tr><tr><td>Square </td><td>6000–60,000</td><td>0.304</td><td>0.59</td></tr><tr><td></td><td>5000–60,000</td><td>0.158</td><td>0.66</td></tr><tr><td>Hexagon </td><td>5200–20,400</td><td>0.164</td><td>0.638</td></tr><tr><td></td><td>20,400–105,000</td><td>0.039</td><td>0.78</td></tr><tr><td></td><td>4500–90,700</td><td>0.150</td><td>0.638</td></tr><tr><td>Thin plate perpendicular to flow </td><td>Front 10,000–50,000 Back 7000–80,000</td><td>0.667 0.191</td><td>0.500 0.667</td></tr></table>	Geometry	Re_D	C	m	Square 	6000–60,000	0.304	0.59		5000–60,000	0.158	0.66	Hexagon 	5200–20,400	0.164	0.638		20,400–105,000	0.039	0.78		4500–90,700	0.150	0.638	Thin plate perpendicular to flow 	Front 10,000–50,000 Back 7000–80,000	0.667 0.191	0.500 0.667				
Geometry	Re_D	C	m																														
Square 	6000–60,000	0.304	0.59																														
	5000–60,000	0.158	0.66																														
Hexagon 	5200–20,400	0.164	0.638																														
	20,400–105,000	0.039	0.78																														
	4500–90,700	0.150	0.638																														
Thin plate perpendicular to flow 	Front 10,000–50,000 Back 7000–80,000	0.667 0.191	0.500 0.667																														
Escoamento externo cruzado em cilindro, médio, $Pr>0,2$ - Seção transversal circular (Churchill e Bernstein):	$\overline{Nu}_D = 0.3 + \frac{0.62 Re_D^{1/2} Pr^{1/3}}{[1 + (0.4/Pr)^{2/3}]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re_D}{282,000} \right)^{5/8} \right]^{4/5}$																																
Escoamento externo em esfera, médio. Todas as propriedades em T_∞ , exceto μ_s , na T_s :	$\overline{Nu}_D = 2 + (0.4 Re_D^{1/2} + 0.06 Re_D^{2/3}) Pr^{0.4} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{1/4}$ $\left[\begin{array}{l} 0.71 \leq Pr \leq 380 \\ 3.5 \leq Re_D \leq 7.6 \times 10^4 \\ 1.0 \leq (\mu/\mu_s) \leq 3.2 \end{array} \right]$																																
Fluxo térmico constante na superfície	$q_{\text{conv}} = q_s''(P \cdot L)$																																
Temperatura constante na superfície	$q_{\text{conv}} = \bar{h} A_s \Delta T_{\text{lm}}$ $\Delta T_{\text{ml}} \equiv \frac{\Delta T_{\text{saí}} - \Delta T_{\text{ent}}}{\ln (\Delta T_{\text{saí}}/\Delta T_{\text{ent}})}$																																
Escoamento interno em tubo circular, fluxo térmico constante, laminar desenvolvido	$Nu_D \equiv \frac{hD}{k} = 4.36$																																
Escoamento interno em tubo circular, temp. constante, laminar desenvolvido	$Nu_D = 3.66$																																
Escoamento interno em tubo não-circular, temp. constante ou fluxo térmico constante, laminar desenvolvido	$D_h = \frac{4A_{\text{transv}}}{P}$<table><tr><th>Cross Section</th><th>$\frac{b}{a}$</th><th>(Uniform q_s'')</th><th>(Uniform T_s)</th></tr><tr><td></td><td>—</td><td>4.36</td><td>3.66</td></tr><tr><td></td><td>1.0</td><td>3.61</td><td>2.98</td></tr><tr><td></td><td>1.43</td><td>3.73</td><td>3.08</td></tr><tr><td></td><td>2.0</td><td>4.12</td><td>3.39</td></tr><tr><td></td><td>3.0</td><td>4.79</td><td>3.96</td></tr><tr><td></td><td>4.0</td><td>5.33</td><td>4.44</td></tr><tr><td></td><td>8.0</td><td>6.49</td><td>5.60</td></tr></table>	Cross Section	$\frac{b}{a}$	(Uniform q_s'')	(Uniform T_s)		—	4.36	3.66		1.0	3.61	2.98		1.43	3.73	3.08		2.0	4.12	3.39		3.0	4.79	3.96		4.0	5.33	4.44		8.0	6.49	5.60
Cross Section	$\frac{b}{a}$	(Uniform q_s'')	(Uniform T_s)																														
	—	4.36	3.66																														
	1.0	3.61	2.98																														
	1.43	3.73	3.08																														
	2.0	4.12	3.39																														
	3.0	4.79	3.96																														
	4.0	5.33	4.44																														
	8.0	6.49	5.60																														

Escoamento interno em tubo circular ou não-circular, fluxo ou temperatura constante na superfície, turbulento e desenvolvido (Dittus-Boellter):	$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n$ $0.6 \leq Pr \leq 160$ $Re_D \geq 10,000$ n=0,4 para aquecimento n=0,3 para resfriamento																					
Escoamento interno em tubo circular, fluxo ou temperatura constante na superfície, turbulento e desenvolvido com grandes variações nas propriedades (Sieder e Tate):	$Nu_D = 0.027 Re_D^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0.14}$ $0.7 \leq Pr \leq 16,700$ $Re_D \geq 10,000$																					
Escoamento interno Região Anular: escoamento laminar desenvolvido, com uma superfície isolada e a outra com temperatura constante:	$Nu_i \equiv \frac{h_i D_h}{k}$ $Nu_e \equiv \frac{h_e D_h}{k}$ $D_h = \frac{4(\pi/4)(D_e^2 - D_i^2)}{\pi D_e + \pi D_i} = D_e - D_i$ <table><tr><th>D_i/D_e</th><th>Nu_i</th><th>Nu_e</th></tr><tr><td>0</td><td>—</td><td>3,66</td></tr><tr><td>0,05</td><td>17,46</td><td>4,06</td></tr><tr><td>0,10</td><td>11,56</td><td>4,11</td></tr><tr><td>0,25</td><td>7,37</td><td>4,23</td></tr><tr><td>0,50</td><td>5,74</td><td>4,43</td></tr><tr><td>≈1,00</td><td>4,86</td><td>4,86</td></tr></table>	D_i/D_e	Nu_i	Nu_e	0	—	3,66	0,05	17,46	4,06	0,10	11,56	4,11	0,25	7,37	4,23	0,50	5,74	4,43	≈1,00	4,86	4,86
D_i/D_e	Nu_i	Nu_e																				
0	—	3,66																				
0,05	17,46	4,06																				
0,10	11,56	4,11																				
0,25	7,37	4,23																				
0,50	5,74	4,43																				
≈1,00	4,86	4,86																				
Escoamento interno Região Anular: turbulento, considera-se que os coeficientes de transferência de calor na superfície interna e externa são iguais, sendo obtidos pela equação de Dittus-Boleter, empregando o D_h .	$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n$ n=0,4 para aquecimento n=0,3 para resfriamento																					

Bi	Placa plana λ_1	Cilindro λ_1	Esfera λ_1
0,01	0,0998	0,1412	0,1730
0,02	0,1410	0,1995	0,2445
0,04	0,1987	0,2814	0,3450
0,06	0,2425	0,3438	0,4217
0,08	0,2791	0,3960	0,4860
0,1	0,3111	0,4417	0,5423
0,2	0,4328	0,6170	0,7593
0,3	0,5218	0,7465	0,9208
0,4	0,5932	0,8516	1,053
0,5	0,6533	0,9408	1,166
0,6	0,7051	1,018	1,264
0,7	0,7506	1,087	1,353
0,8	0,7910	1,149	1,432
0,9	0,8274	1,205	1,504
1	0,8603	1,256	1,571
2	1,077	1,599	2,029

x	$J_0(x)$	$J_1(x)$
0	1	0
0,1	0,9975	0,04994
0,2	0,9900	0,0995
0,3	0,9776	0,1483
0,4	0,9604	0,1960
0,5	0,9385	0,2423
0,6	0,9120	0,2867
0,7	0,8812	0,3290
0,8	0,8463	0,3688
0,9	0,8075	0,4059
1	0,7652	0,4401
1,1	0,7196	0,4709
1,2	0,6711	0,4983
1,3	0,6201	0,5220
1,4	0,5669	0,5419
1,5	0,5118	0,5579

3	1,192	1,789	2,289	1,6	0,4554	0,5699
4	1,265	1,908	2,456	1,7	0,3980	0,5778
5	1,314	1,990	2,570	1,8	0,3400	0,5815
6	1,350	2,049	2,654	1,9	0,2818	0,5812
7	1,377	2,094	2,716	2	0,2239	0,5767
8	1,398	2,129	2,765	2,1	0,1666	0,5683
9	1,415	2,157	2,804	2,2	0,1104	0,5560
10	1,429	2,179	2,836	2,3	0,0555	0,5399
15	1,473	2,251	2,935	2,4	0,0025	0,5202
20	1,496	2,288	2,986	2,5	-0,0484	0,4971
25	1,510	2,311	3,017	2,6	-0,0968	0,4708
30	1,520	2,326	3,037	2,7	-0,1424	0,4416
40	1,533	2,346	3,063	2,8	-0,1850	0,4097
45	1,537	2,352	3,072	3	-0,2601	0,3391
50	1,540	2,357	3,079	3,2	-0,3202	0,2613
100	1,555	2,381	3,110	3,4	-0,3643	0,1792
200	1,563	2,393	3,126	3,6	-0,3918	0,0955
500	1,568	2,400	3,135	3,8	-0,4026	0,0128
1000	1,569	2,402	3,138	4	-0,3971	-0,0660