

CAPÍTULO 9 – Convecção Natural

9.6. Correlações Empíricas: Convecção Natural em Escoamentos Externos

$$\overline{Nu}_L = \frac{\bar{h}L}{k} = C Ra_L^n$$

(9.24)

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

(9.25)

Escoamento Laminar ($10^4 \lesssim Ra_L \lesssim 10^9$), $C = 0.59$ e $n = 1/4$

Escoamento Turbulento ($10^9 \lesssim Ra_L \lesssim 10^{13}$), $C = 0.10$ e $n = 1/3$

e $T_f \equiv (T_s + T_\infty)/2$

CAPÍTULO 9 – Convecção Natural

9.6.1. Placa Vertical

Correlação para todo o intervalo de Ra_L

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (9.26)$$

Uma precisão ligeiramente superior para escoamento laminar pode ser obtida por:

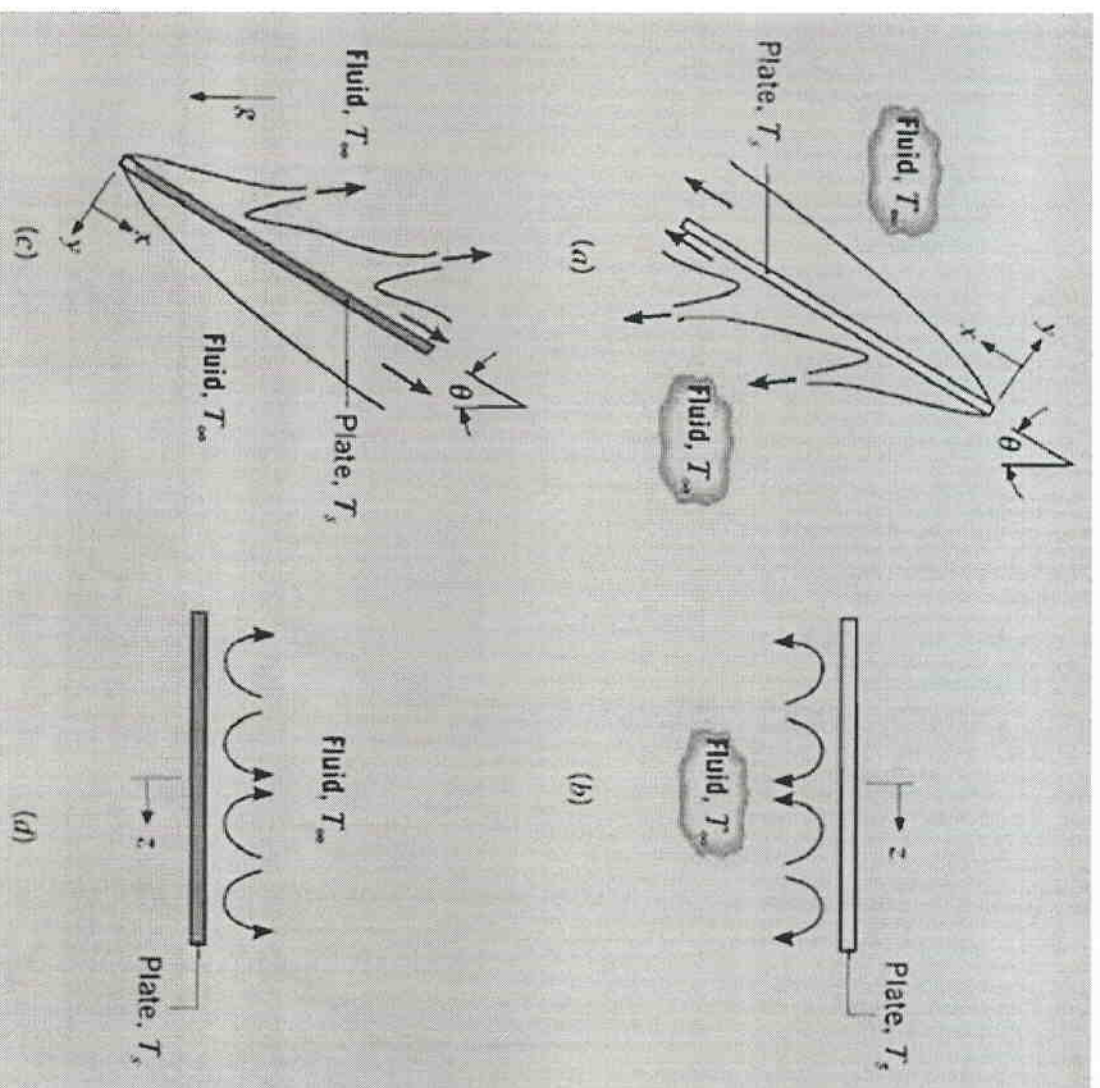
$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad Ra_L \lesssim 10^9 \quad (9.27)$$

Estes resultados são válidos para cilindros verticais com altura L desde que δ seja muito menor que D , ou seja, quando:

$$\frac{D}{L} \gtrsim \frac{35}{Gr_L^{1/4}}$$

CAPÍTULO 9 – Convecção Natural

9.6.2. Placas Inclínadas e Horizontais



CAPÍTULO 9 – Convecção Natural

9.6.2.1. Placas Inclinadas

Superfície Inferior de uma Placa Aquecida ou Superfície Superior de uma Placa Resfriada

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

(9.26)

$$\overline{Nu}_L = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}}$$

$Ra_L \lesssim 10^9$ (9.27)

Onde g deve ser substituído por $g \cdot \cos \theta$
Válidas para $0 \leq \theta \leq 60^\circ$

Obs.: Para superfície superior de placa aquecida ou superfície inferior de placa resfriada não são feitas recomendações.

CAPÍTULO 9 – Convecção Natural

9.6.2.2. Placas Horizontais

Superfície Superior de uma Placa Aquecida ou Superfície Inferior de uma Placa Resfriada

$$\overline{Nu}_L = 0.54 Ra_L^{1/4} \quad (10^4 \lesssim Ra_L \lesssim 10^7)$$

(9.30)

$$\overline{Nu}_L = 0.15 Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \lesssim Ra_L \lesssim 10^{11})$$

(9.31)

Superfície Inferior de uma Placa Aquecida ou Superfície Superior de uma Placa Resfriada

$$\overline{Nu}_L = 0.27 Ra_L^{1/4} \quad (10^5 \lesssim Ra_L \lesssim 10^{10})$$

(9.32)

Onde o comprimento característico é definido como: $L \equiv \frac{A_s}{P}$

CAPÍTULO 9 – Convecção Natural

9.6.3. O Cilindro Horizontal Longo

Correlação proposta por Churchill e Chu

$$\overline{Nu_D} = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

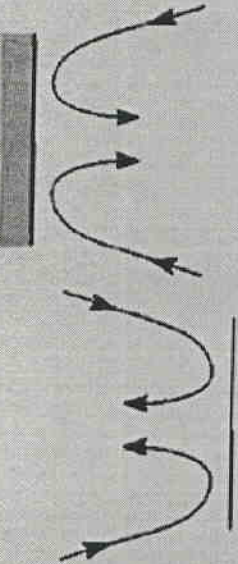
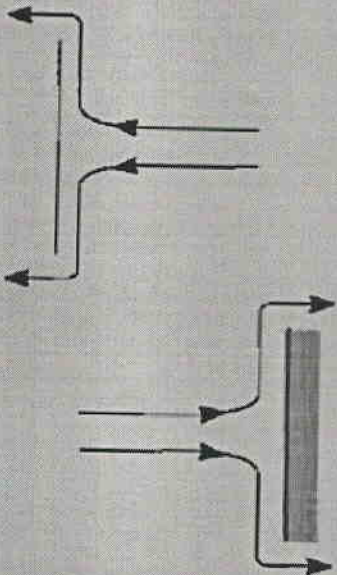
$$Ra_D \leq 10^{12}$$

(9.34)

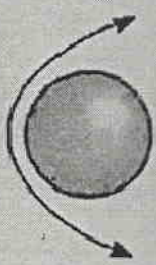
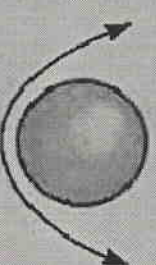
CAPÍTULO 9 – Convecção Natural

Geometry	Recommended Correlation	Restrictions
1. Vertical plates"		
2. Inclined plates Cold surface up or hot surface down		
	$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$	None
	$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$	
	$g \rightarrow g \cos \theta$	$0 \leq \theta \leq 60^\circ$

CAPÍTULO 9 – Convecção Natural

Geometry	Recommended Correlation	Restrictions
3. Horizontal plates		
	$\overline{Nu}_L = 0.54 Ra_L^{1/4}$ $\overline{Nu}_L = 0.15 Ra_L^{1/3}$	$10^4 \leq Ra_L \leq 10^7$ $10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}$
(b) Cold surface up or hot surface down 	$\overline{Nu}_L = 0.27 Ra_L^{1/4}$	$10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}$

CAPÍTULO 9 – Convecção Natural

Geometry	Recommended Correlation	Restrictions
4. Horizontal cylinder		
	$\overline{Nu}_D = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$	$Ra_D \lesssim 10^{12}$
5. Sphere		
	$\overline{Nu}_D = 2 + \frac{0.589 Ra_D^{1/4}}{[1 + (0.469/Pr)^{9/16}]^{4/9}}$	$Ra_D \lesssim 10^{11}$ $Pr \gtrsim 0.7$

^a The correlation may be applied to a vertical cylinder if $(D/L) \gtrsim (35/Gr_L^{1/4})$.

Convecção natural - fanática

10

Tabela 7-1 Constantes da Eq. (7-25) para superfícies isotérmicas

Geometria	$Gr_f Pr_f$	C	m	Ref.
Cilindros e planos verticais	$10^{-1} - 10^4$	Fig. 7-7	Fig. 7-7	4
	$10^4 - 10^9$	0,59	1/4	4
	$10^9 - 10^{13}$	0,021	2/5	30
Cilindros horizontais	$10^9 - 10^{13}$	0,10	1/3	22, 16†
	$0 - 10^{-5}$	0,4	0	4
	$10^{-5} - 10^4$	Fig. 7-8	Fig. 7-8	4
	$10^4 - 10^9$	0,53	1/4	4
Superfície superior de placa aquecida ou superfície inferior de placa resfriada	$10^9 - 10^{12}$	0,13	1/3	4
	$2 \times 10^4 - 8 \times 10^6$	0,54	1/4	44, 52
	$8 \times 10^6 - 10^{11}$	0,15	1/3	44, 52
Superfície inferior de placa aquecida ou superfície superior de placa resfriada	$10^5 - 10^{11}$	0,58	1/5	44, 64

† Preferida

Convecção Natural

319

Tabela 7-2 Equações simplificadas para convecção natural de várias superfícies para o ar à pressão atmosférica, adaptadas da Tabela 7-1

Superfície	Laminar, $10^5 < Gr_f Pr_f < 10^9$	Turbulento, $Gr_f Pr_f \geq 10^9$
Cilindro ou plano vertical	$h = 1,42 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$	$h = 0,95 (\Delta T)^{1/3}$
Cilindro horizontal	$h = 1,32 \left(\frac{\Delta T}{d} \right)^{1/4}$	$h = 1,24 (\Delta T)^{1/3}$
Placa horizontal		
Placa aquecida voltada para cima ou placa resfriada voltada para baixo	$h = 1,32 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$	$h = 1,43 (\Delta T)^{1/3}$
Placa aquecida voltada para baixo ou placa resfriada voltada para cima		$h = 0,61 \left(\frac{\Delta T}{L^2} \right)^{1/5}$

onde h = coeficiente de transferência de calor, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

$\Delta T = T_p - T_\infty, ^\circ C$

L = dimensão horizontal ou vertical, m

d = diâmetro, m