

# Trocadores de Calor

Perda de Carga e Considerações de Projeto

# TÓPICOS

1. **Motivação**
2. **Classificação**
3. **Coeficiente Global de Transferência de Calor**
4. **Método da Temperatura Média Logarítmica**
5. **Método da Efetividade-NTU**
6. **Perda de Carga**
7. **Considerações sobre projeto de Trocadores de Calor**

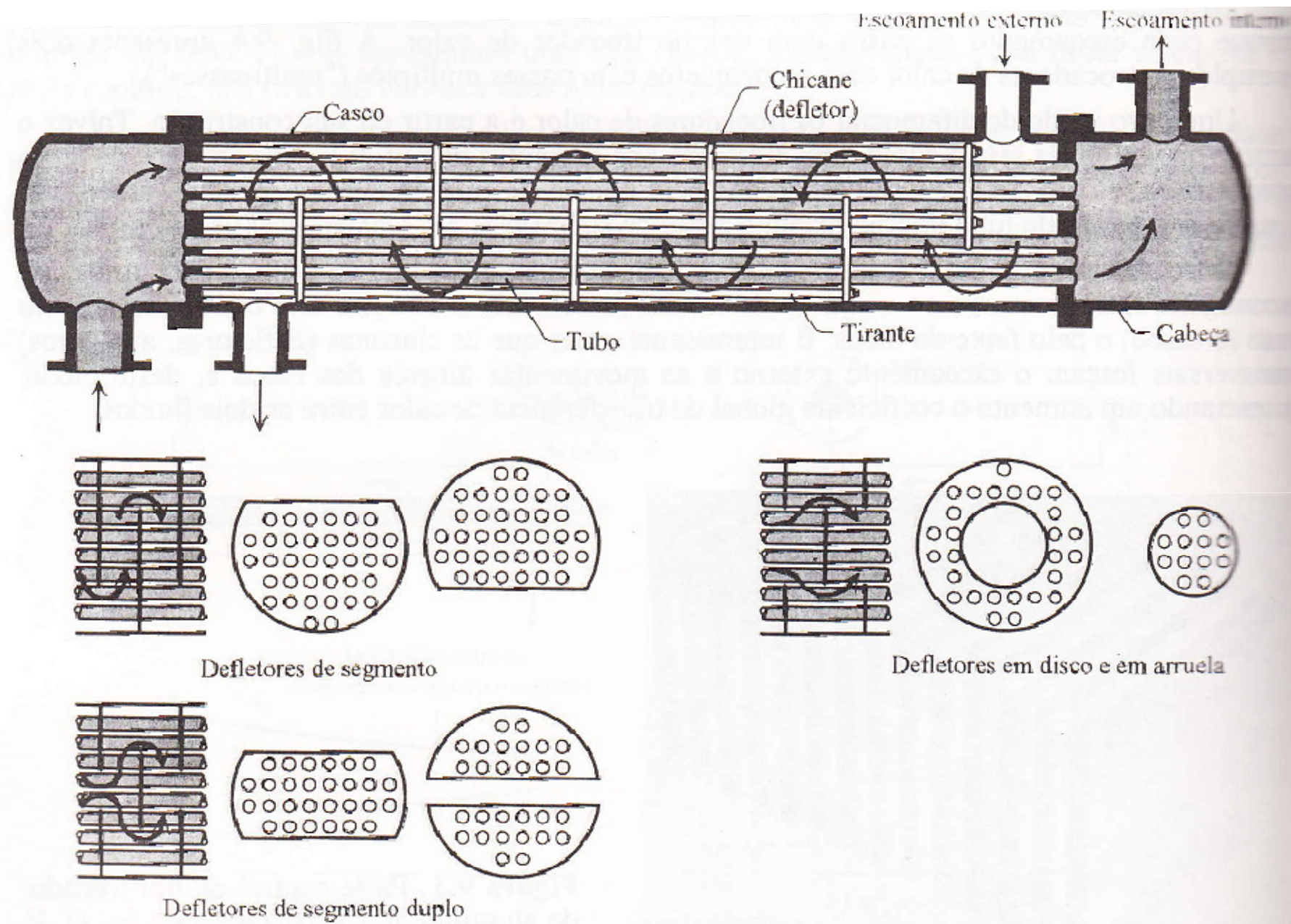
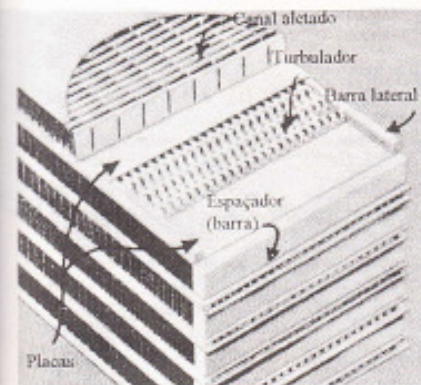
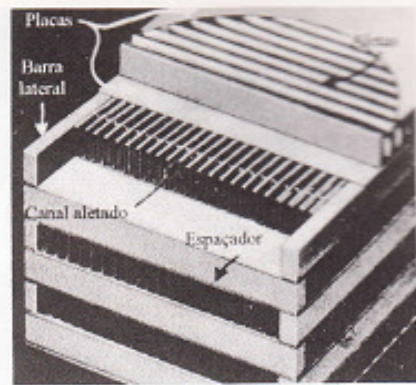


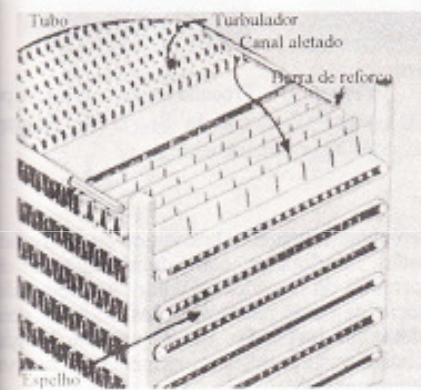
Figura 9.5 Trocador de calor casco - tubo multitubular e três exemplos de defletores.



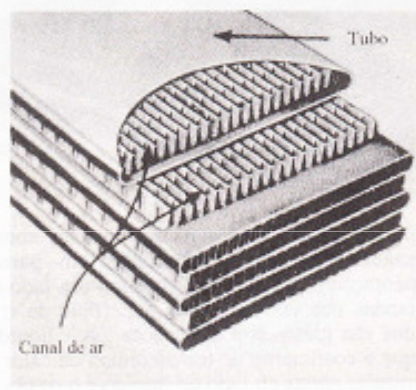
Barra e Placa



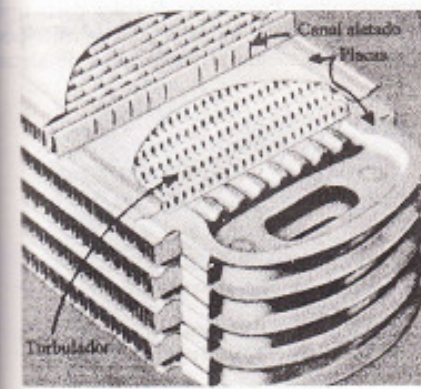
Barra e Placa



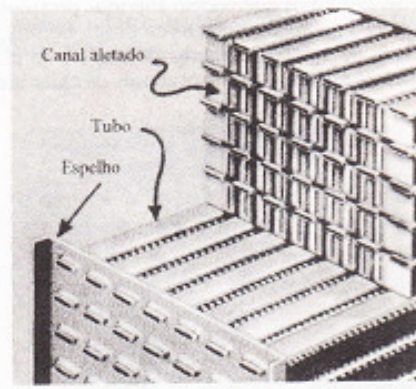
Canais Moldados



Canais Moldados



Placas Deslizantes



Tubo Centrado

Figura 9.6 Trocadores de calor do tipo placa (Cortesia do Dr. R. K. Shah, General Motors)

## 6. Potência necessária:

Potência p/ fluido incompressível:

$$\dot{W}_b = \frac{1}{\eta} \frac{\dot{m}}{\rho} \Delta p$$

Potência p/ fluido compressível:

$$\dot{W}_c = \frac{1}{\eta} \dot{m} c_p T_e \left[ \left( \frac{p_s}{p_e} \right)^{R/c_p} - 1 \right]$$

Perda de Carga ou Pressão (trecho reto):

$$\Delta p_s = f \frac{4L}{D_h} \frac{1}{2} \rho V^2$$

# Contra

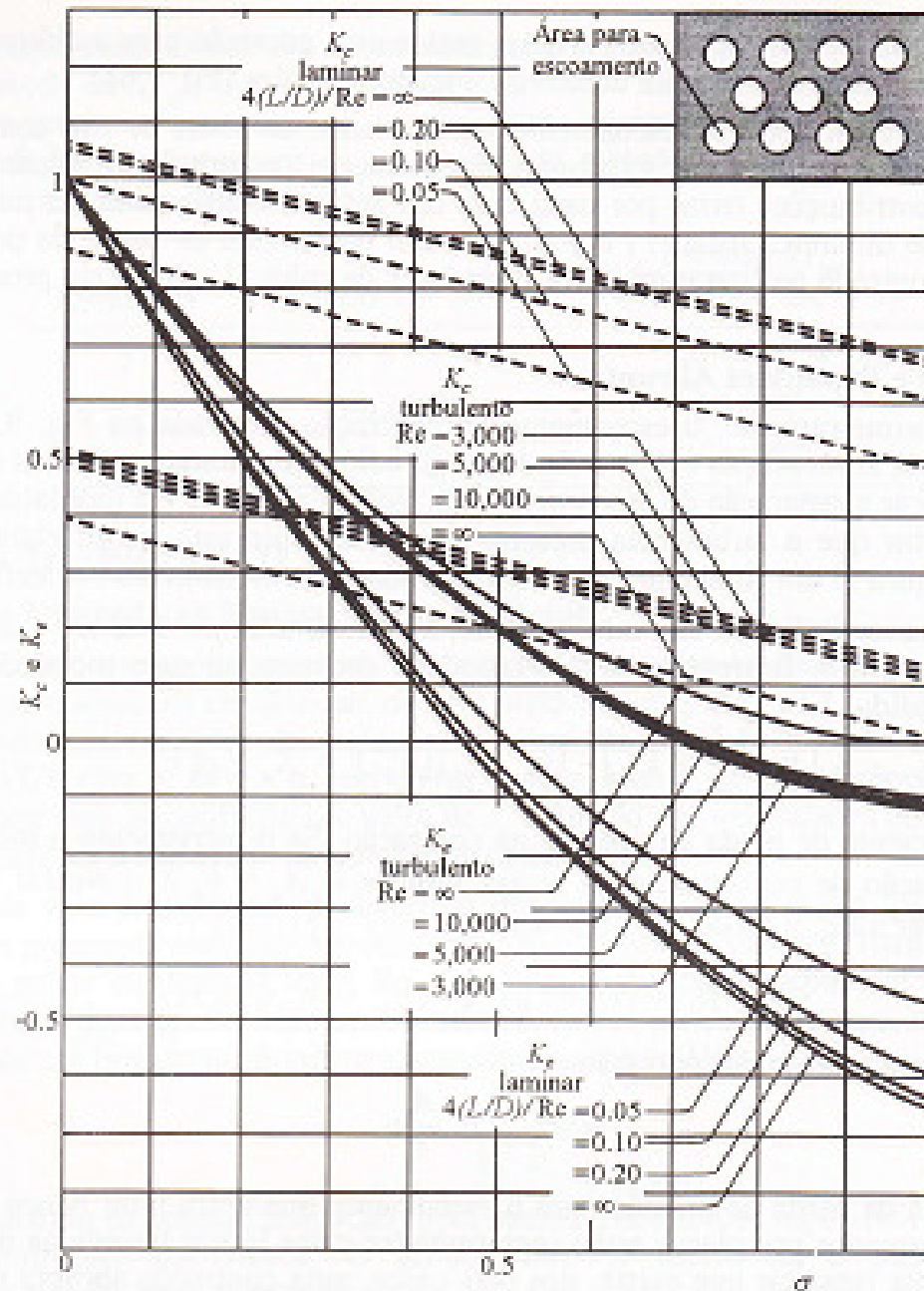
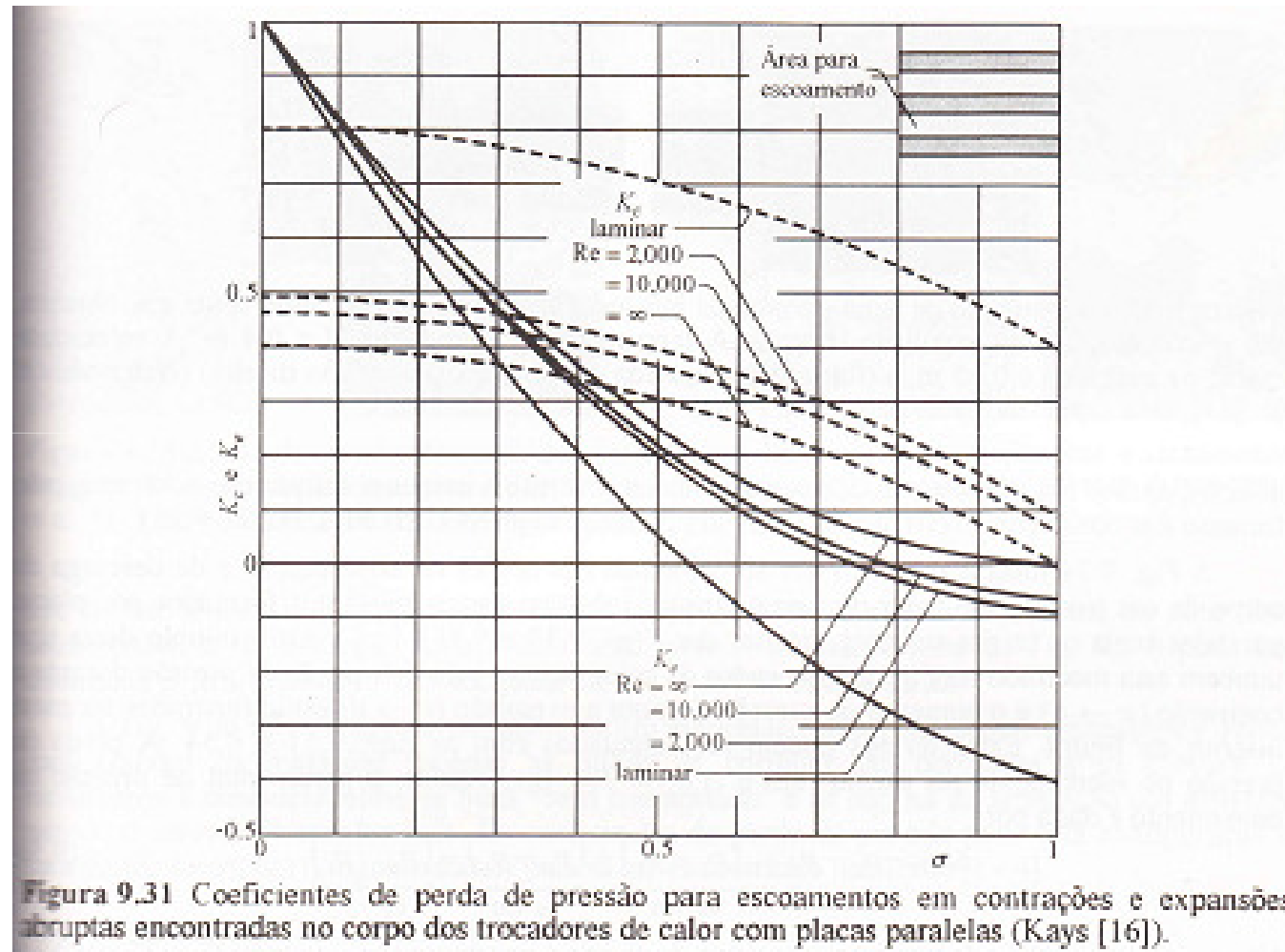


Figura 9.30 Coeficientes de perda de pressão para escoamentos em contrações e expansões abruptas encontradas no corpo dos trocadores de calor multitubulares (Kays e London [15]).

k [14], com

a - Separação da Springer -

# Contração e Expansão do Escoamento:



# Escoamento Perpendicular:

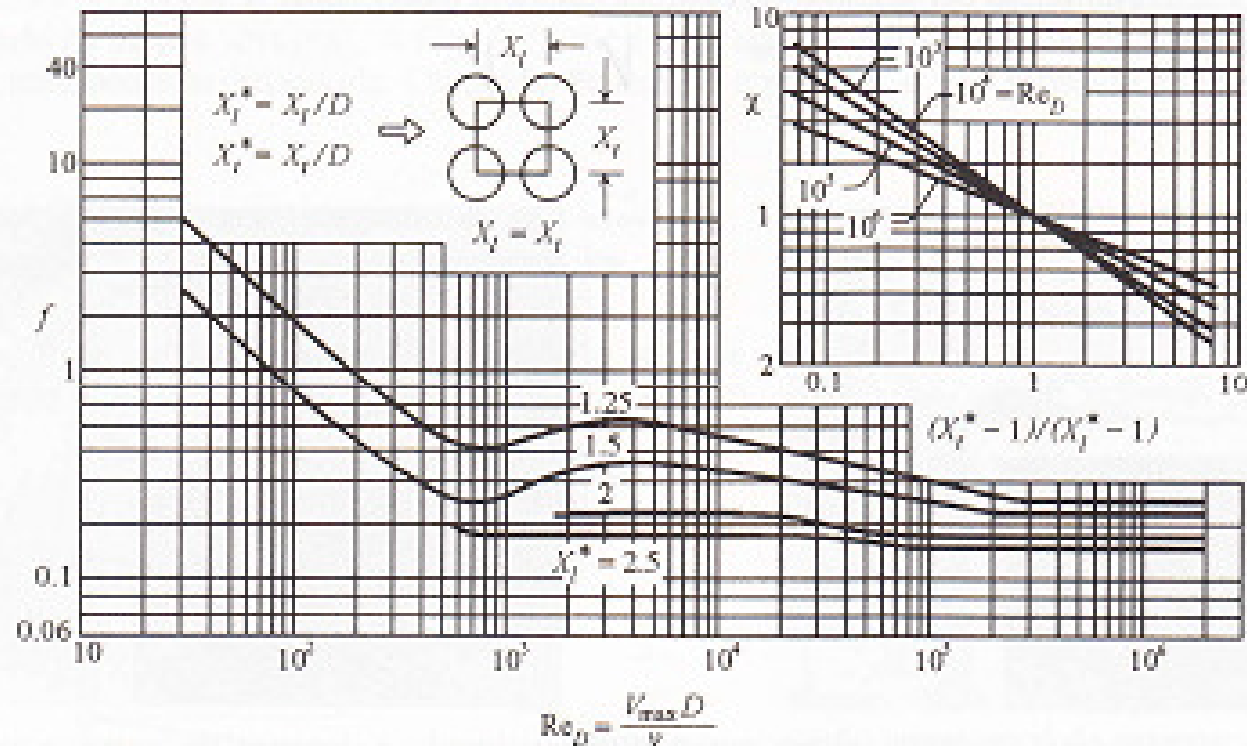


Figura 9.37 Banco de tubos com arranjo paralelo: Coeficientes  $f$  e  $X$  para o cálculo da perda de pressão (Eq. 9.62) (Zukauskas [18], com autorização da John Wiley & Sons, Inc.).



# Escoamento Perpendicular:

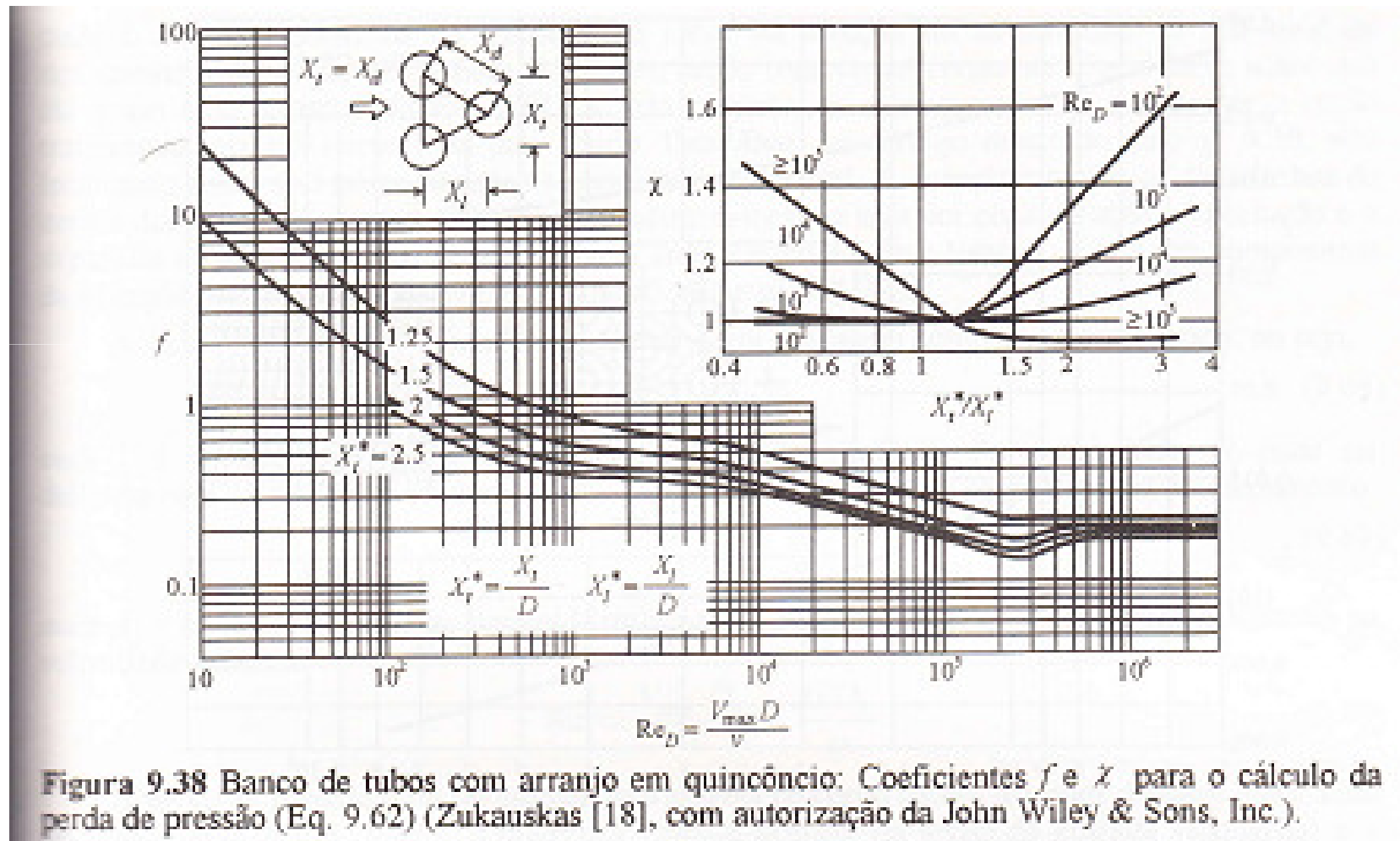
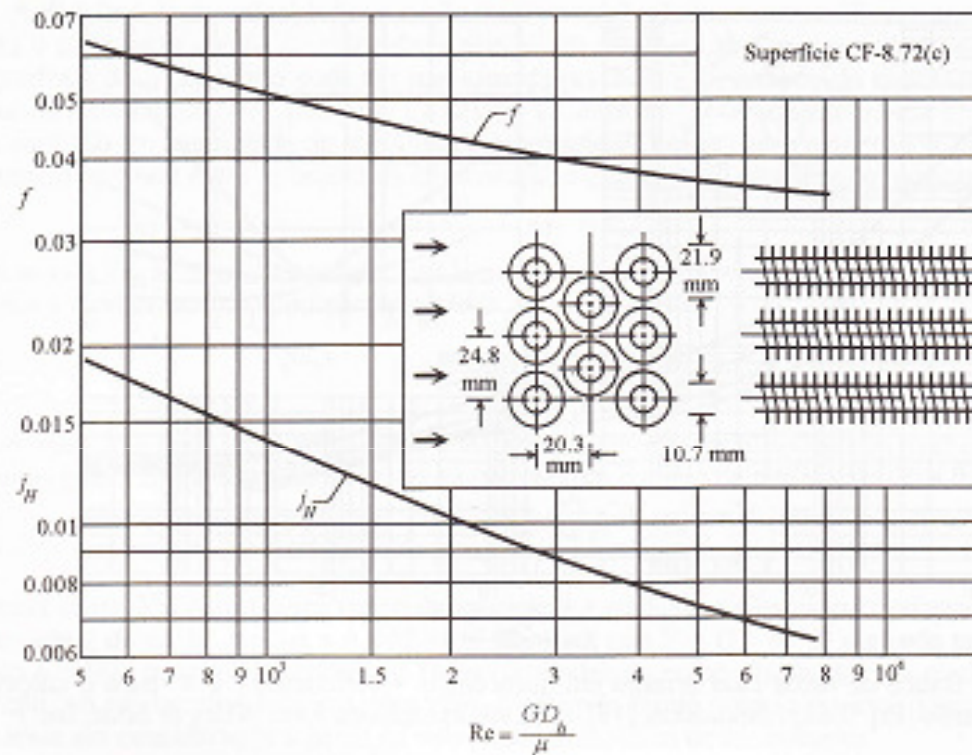


Figura 9.38 Banco de tubos com arranjo em quincôncio: Coeficientes  $f$  e  $\chi$  para o cálculo da perda de pressão (Eq. 9.62) (Zukauskas [18], com autorização da John Wiley & Sons, Inc.).

# Escoamento Perpendicular:



Diâmetro externo dos tubos = 10,7 mm  
 343 aletas por metro de tubo  
 Diâmetro hidráulico da seção de escoamento  $D_h = 4,43$  mm  
 Espessura da aleta, média (as aletas são afiladas) = 0,48 mm, cobre  
 Área de escoamento livre / área frontal,  $\sigma = 0,494$   
 Área de transferência de calor / volume total,  $\alpha = 446$  m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>  
 Área da aleta / área total,  $A_o/A = 0,876$

Figura 9.39 Perda de pressão e dados sobre a transferência de calor em feixes de tubos aletados montados em quincôncio (London et al. [19] e Kays e London [4]).

## Exemplo 9.6:

### Exemplo 9.6

#### Trocador de Calor Compacto, Perda de Pressão e Coeficiente de Transferência de Calor

Um trocador de calor com tubos aletados do tipo mostrado na Fig. 9.39 é alimentado com 1500 kg/h de ar a 1 atm e 30 °C. A alimentação de ar é perpendicular aos tubos e o ar deixa o trocador de calor a 100 °C. O corpo do trocador de calor apresenta comprimento igual a 0,5 m e área frontal de 0,25 m<sup>2</sup>. Calcule a perda de pressão total entre as seções de alimentação e descarga de ar e o coeficiente médio de transferência de calor no lado do ar.

**Solução.** A massa específica do ar nas seções de alimentação (entrada) e descarga (saída) podem ser encontradas no Apen. D:

$$\rho_e = 0,616 \text{ kg/m}^3 \quad \rho_s = 0,946 \text{ kg/m}^3$$

As outras propriedades do ar devem ser avaliadas na temperatura média,  $(300 + 100) / 2 = 200 \text{ °C}$ .

$$\rho = 0,746 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Pr} = 0,68$$

$$\mu = 2,58 \times 10^{-5} \text{ kg/s}\cdot\text{m} \quad c_p = 1,025 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

A perda de pressão é fornecida pela Eq. 9.71. Assim,

$$\frac{A}{A_e} = \frac{\alpha V}{\sigma A_f} = \frac{\alpha L}{\sigma} = \frac{446}{0,494}(0,5) = 451,4$$

$$A_e = \sigma A_f = 0,494 \times 0,25 = 0,124 \text{ m}^2$$

$$G = \frac{\dot{m}}{A_e} = \frac{1500}{3600} \frac{1}{0,124} = 3,36 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

$$D_k = 4 \frac{L}{A/A_e} = 4 \frac{0,5}{451,4} = 4,43 \times 10^{-3} \text{ m} = 4,43 \text{ mm}$$

$$\text{Re} = \frac{G D_k}{\mu} = \frac{3,36 \times 4,43 \times 10^{-3}}{2,58 \times 10^{-5}} = 577$$

$$f \cong 0,061 \quad (\text{Fig. 9.39 com } \text{Re} = 577)$$

$$\begin{aligned} \Delta p &= (3,36)^2 \frac{1}{2 \times 0,616} \left[ (0,061 \times 451,4) \frac{0,616}{0,746} + (1 + 0,494^2) \left( \frac{0,616}{0,946} - 1 \right) \right] \\ &= 204,4 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

O coeficiente de transferência de calor pode ser obtido com o valor de  $j_H$  encontrado na Fig. 9.39.

$$j_H \cong 0,018$$

$$\text{St} = j_H \text{Pr}^{-2/3} \cong 0,018 (0,68)^{-2/3} = 0,0233$$

$$h = \text{St} G c_p \cong 0,0233 \times 3,36 \times 1025 = 80 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

# Projeto de Trocadores de Calor:

## Aspectos Combinados:

- Termodinâmica;
- Transferência de Calor;
- Mecânica de Fluidos;
- Resistência dos Materiais;
- Materiais de Construção Mecânica;

# Projeto de Trocadores de Calor:

Projeto Máquina de Refrigeração por Absorção

# Referências:

BEJAN, Transferência de Calor, Edgard Blucher Ltda, 1996.

KAYS e LONDON, Compact Heat Exchangers, McGraw-Hill, 1998.

VARGAS et al., Projeto DORAGEX, 2005