

CAPÍTULO 4 – CONVECÇÃO NATURAL

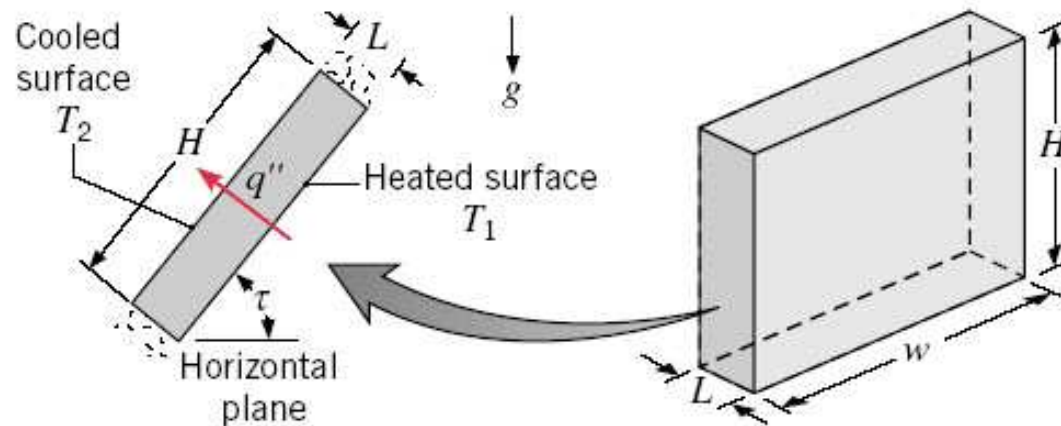
Prof. Dr. Santiago del Rio Oliveira

CORRELAÇÕES EMPÍRICAS: ESPAÇOS CONFINADOS

- Transferência de calor entre superfícies que se encontram a diferentes temperaturas e são separadas por um **fluido confinado**.

Cavidades retangulares

- Duas das paredes opostas são mantidas a **diferentes temperaturas** ($T_1 > T_2$), enquanto as paredes restantes são **isoladas da vizinhança**.



- O ângulo de inclinação τ entre as superfícies aquecida e resfriada e a horizontal pode variar de 0° (cavidade horizontal com aquecimento da superfície inferior) a 90° (cavidade vertical com aquecimento da parede lateral) a 180° (cavidade horizontal com aquecimento da superfície superior)
- Fluxo de calor através da cavidade: $q'' = \bar{h}(T_1 - T_2)$
- O fluxo de calor depende: $q'' = f(H/L, w/L, \tau)$
- Para cavidade horizontal aquecida a partir de baixo, Globe e Dropkin (1959):

$$\overline{\text{Nu}}_L = \frac{\bar{h}L}{k} = 0,069\text{Ra}_L^{1/3} \text{Pr}^{0,074}$$

$$3 \times 10^5 < \text{Ra}_L < 7 \times 10^9$$

- As propriedades são avaliadas em $\bar{T} = (T_1 + T_2)/2$
- Para cavidade vertical retangular ($\tau = 90^\circ$) recomendam-se as correlações:

$$\overline{\text{Nu}}_L = 0,22 \left(\frac{\text{Pr}}{0,2 + \text{Pr}} \text{Ra}_L \right)^{0,28} \left(\frac{H}{L} \right)^{-1/4}$$

$$\left[\begin{array}{c} 2 < H/L < 10 \\ \text{Pr} < 10^5 \\ 10^3 < \text{Ra}_L < 10^{10} \end{array} \right]$$

$$\overline{\text{Nu}}_L = 0,18 \left(\frac{\text{Pr}}{0,2 + \text{Pr}} \text{Ra}_L \right)^{0,29}$$

$$\left[\begin{array}{c} 1 < H/L < 2 \\ 10^{-3} < \text{Pr} < 10^5 \\ 10^3 < \frac{\text{Ra}_L \text{Pr}}{0,2 + \text{Pr}} \end{array} \right]$$

$$\overline{\text{Nu}}_L = 0,42 \text{Ra}_L^{1/4} \text{Pr}^{0,012} \left(\frac{H}{L} \right)^{-0,3}$$

$$\left[\begin{array}{c} 10 < H/L < 40 \\ 1 < \text{Pr} < 2 \times 10^4 \\ 10^4 < \text{Ra}_L < 10^7 \end{array} \right]$$

$$\overline{\text{Nu}}_L = 0,046 \text{Ra}_L^{1/3}$$

$$\left[\begin{array}{c} 1 < H/L < 40 \\ 1 < \text{Pr} < 20 \\ 10^6 < \text{Ra}_L < 10^9 \end{array} \right]$$

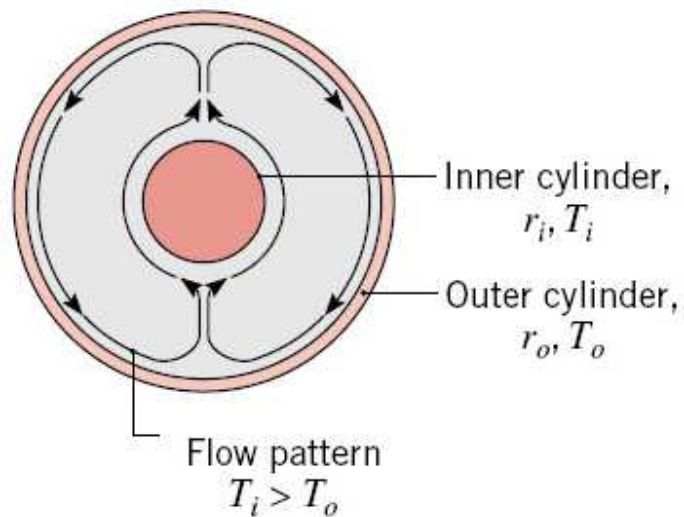
- As propriedades devem ser avaliadas em $\overline{T} = (T_1 + T_2)/2$

- Para cavidades inclinadas, Hollands *et al.* (1976) sugere a seguinte correlação:

$$\overline{Nu}_L = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708}{Ra_L \cos \tau} \right] \cdot \left[1 - \frac{1708 (\sin 1,8\tau)^{1,6}}{Ra_L \cos \tau} \right] + \left[\left(\frac{Ra_L \cos \tau}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right].$$

Cilindros concêntricos

- A transferência de calor por unidade de comprimento do cilindro pode ser representada como:



$$q = \frac{2\pi L k_{ef} (T_i - T_o)}{\ln(r_o/r_i)}$$

- k_{eff} é a **condutividade térmica efetiva** que é a condutividade térmica que um fluido estacionário deve ter para transferir a mesma quantidade de calor conforme o fluido está se movendo:

$$\frac{k_{ef}}{k} = 0,386 \left(\frac{\text{Pr}}{0,861 + \text{Pr}} \right)^{1/4} \text{Ra}_c^{1/4}$$

- A equação acima é válida para $0,7 \leq \text{Pr} \leq 6000$ e $\text{Ra}_c \leq 10^7$.
- A escala de comprimento no Ra_c é dada por:

$$L_c = \frac{2[\ln(r_e/r_i)]^{4/3}}{(r_i^{-3/5} + r_e^{-3/5})^{5/3}}$$

- As propriedades são avaliadas na temperatura média, $T_m = (T_i + T_e)/2$.

Esferas concêntricas

- A taxa total de transferência de calor entre duas esferas é dada por:

$$q = \frac{4\pi k_{ef} (T_i - T_e)}{(1/r_i) - (1/r_e)}$$

- A condutividade térmica efetiva é:

$$\frac{k_{ef}}{k} = 0,74 \left(\frac{\text{Pr}}{0,861 + \text{Pr}} \right)^{1/4} \text{Ra}_s^{1/4}$$

- A equação acima é válida para $0,7 \leq \text{Pr} \leq 4000$ e $\text{Ra}_s \leq 10^4$.
- A escala de comprimento no Ra_s é dada por:

$$L_c = \frac{\left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_e}\right)^{4/3}}{2^{1/3}(r_i^{-7/5} + r_e^{-7/5})^{5/3}}$$

- As propriedades são avaliadas na temperatura média, $T_m = (T_i + T_e)/2$.

CONVECÇÃO NATURAL E FORÇADA COMBINADAS

- $(Gr_L / Re_L^2) \ll 1$: convecção livre desprezível.
- $(Gr_L / Re_L^2) \gg 1$: convecção forçada desprezível.
- $(Gr_L / Re_L^2) \approx 1$: convecção livre e forçada (ou mista).
- Os resultados mistos de transferência de calor por convecção para escoamentos interno e externo podem ser escritos como:

$$\text{Nu}^n = \text{Nu}_{\text{forçada}}^n \pm \text{Nu}_{\text{natural}}^n$$

- O sinal positivo se aplica a escoamentos paralelos e transversais e o sinal negativo se aplica ao escoamento oposto.
- Os melhores resultados se aplicam quando $n = 3$ (placas horizontais, cilindros e esferas).
- $n = 7/2$ para placas horizontais e $n = 4$ para cilindros ou esferas.