

# Transferência de calor

**1.1 Calor:** Forma de energia que se transmite espontaneamente de um corpo para o outro quando entre eles existir uma diferença de temperatura.

O calor é uma energia em trânsito provocada por um gradiente de temperatura.

Grandeza mensurável  $\Rightarrow$  Temperatura

Não há necessidade de dois corpos, pode o calor ser transferido de um ponto a outro, dentro do mesmo corpo. Ex: aquecimento da ponta de uma faca.

**1.3 Transferência de Calor :** Explica os modos de transferência , como o calor se propagada e as taxas que ocorrem.

A diferença entre a Termodinâmica e a Transferência de Calor é que a Termodinâmica estuda sistemas em equilíbrio ( não há gradiente de temperatura).

**1.2 Fluxo de Calor:** Relação entre a quantidade de calor transmitido e o tempo gasto na transmissão.

$$q = \frac{Q}{t}$$

*Unidades: ( J/s = W ; Btu/h ; cal/s )*

## 1.4 Processos de Transferência de Calor

⇒ Condução ⇒ Quando há gradiente de temperatura num meio estacionário sólido ou fluido.

⇒ Convecção ⇒ É o processo de transferência de calor executado pelo escoamento de fluido. O fluido atua como transportador de energia que é transferida da parede ou para a parede.

⇒ Radiação ⇒ É um processo eletromagnético e independe do meio.

## 2. Transferência de calor por condução

**2.1. Condução**  $\Rightarrow$  É o modo de transferência de calor em que há troca de energia de uma região de maior temperatura para uma de menor temperatura pelo movimento cinético ou pelo impacto das moléculas, no caso de um fluido em repouso e pelo movimento de elétrons no caso de metais.

# CONDUÇÃO

Sólidos >> Líquidos > Gases

É um processo que predomina nos sólidos (menor espaço interatômico), ocorrendo também em menor intensidade nos líquidos e gases.

## 2.2. Lei de Fourier

A taxa de transferência de calor é proporcional, por unidade de área, a variação de temperatura.

$$q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad \text{ou} \quad q_x'' = -k \frac{\partial T}{\partial x}$$



**A** = Área perpendicular a direção do fluxo de calor

$\frac{\partial T}{\partial x}$  = gradiente de temperatura na direção do escoamento

“ = significa fluxo por área

k = coeficiente de condutividade térmica ( W/m K)

- indica a rapidez com que se transfere o calor.

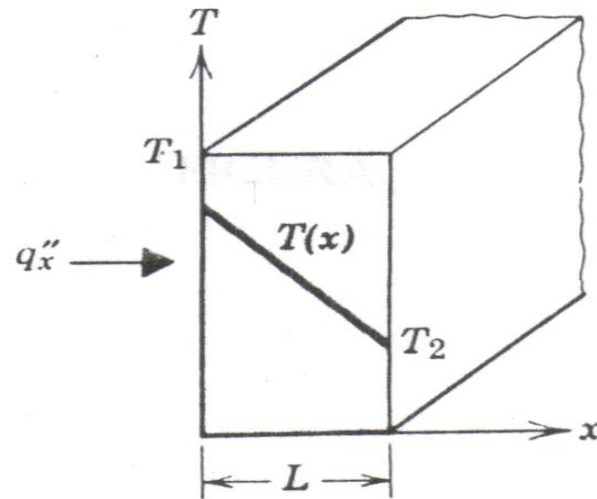
K = f(T); tipo de material

Exemplos:

Prata 410 W/m K - Mármore 2,08 W/m K

Água 0,556 W/m K - Cobre 385 W/m K

Lã de vidro 0,038 W/m K - Ar 0,024 W/m K



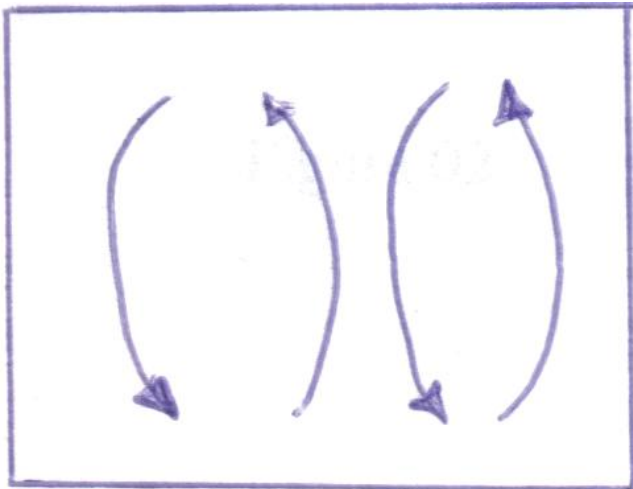
**Transferência de calor por condução unidimensional**

# 3. Transferência de calor por convecção

**3.1 Convecção**  $\Rightarrow$  É o processo de transferência de calor executado pelo escoamento de um fluido. O fluido atua como transportador de energia que é transferida da parede ou para a parede.

## 3.2 Tipos de Convecção

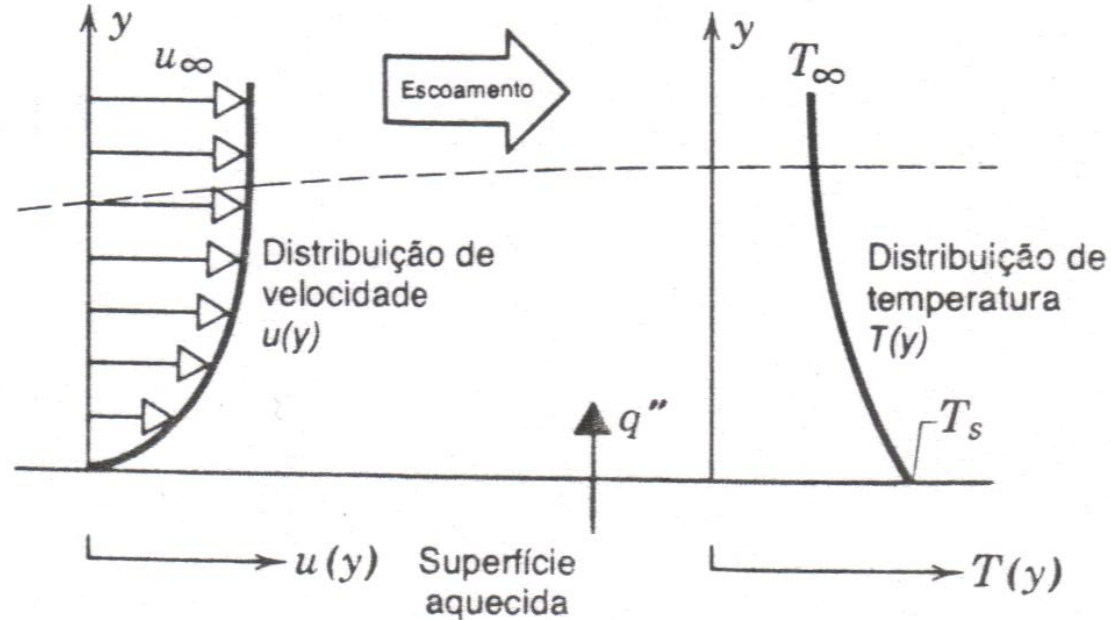
**Natural ou Livre** - O gradiente de temperatura ocasiona uma diferença de densidade e há a movimentação do fluido.



Contração térmica  $\downarrow T$   $\downarrow V$   $\uparrow \rho$

Dilatação térmica  $\uparrow T$   $\uparrow V$   $\downarrow \rho$

**Forçada** - O movimento do fluido é causado pela atuação de uma força externa sobre o sistema.  
Ex: uso de bombas, ventiladores ou sopradores.



## 3.4 Lei de Newton do resfriamento

$$q = hA ( T_p - T_\infty ) \quad \text{ou} \quad q'' = h ( T_p - T_\infty )$$

$q$  = fluxo de calor (W)

$q''$  = fluxo/área (W/m<sup>2</sup>)

$A$  = área da superfície em contato com o fluido

$T_p$  = temperatura da superfície

$T_\infty$  = temperatura do fluido

$h$  = coeficiente de filme ou de convecção

O coeficiente de filme depende das condições existentes na camada limite, como propriedades do fluido ( $\rho$ ,  $\mu$ ,  $k$ ,  $C_p$ ,  $v$ ,  $v$ , ...): características do escoamento (interno ou externo); posição e geometria da superfície, temperaturas etc.

Somente em condições bem simples é que podemos determinar analiticamente o  $h$ , geralmente é determinado experimentalmente.

Coeficientes médios de convecção:

Convecção Livre Gases: 2 - 25 W/m<sup>2</sup>K

Líquidos : 50 - 1000 W/m<sup>2</sup>K

Convecção Forçada Gases: 25 - 250  
W/m<sup>2</sup>K

Líquidos : 50 - 20.000 W/m<sup>2</sup>K

Ebulição / Condensação 2.500 - 100.000  
W/m<sup>2</sup>K



# 4. Transferência de calor por radiação

- **4.1 Radiação**  $\Rightarrow$  A energia é transportada através de ondas eletromagnéticas. A emissão pode ser atribuída as modificações das configurações eletrônicas dos átomos ou moléculas que a constituem.
- O termo radiação é utilizado a todos os fenômenos eletromagnéticos ( ondas de rádio, raios X, gama, ultra som etc.), mas só são de interesse determinados  $\lambda$  ( comprimentos de onda) que resultem em energia térmica.

## 4.2 Lei de Stefan - Boltzman

Todo corpo emite energia em virtude da sua temperatura e a taxa de emissão de energia térmica obedece a Lei de Stefan - Boltzmann.

$$q = \varepsilon A \sigma T^4 \quad \text{ou} \quad q'' = \varepsilon \sigma T^4$$

$\sigma$  = constante de Stefan - Boltzmann =  
 $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

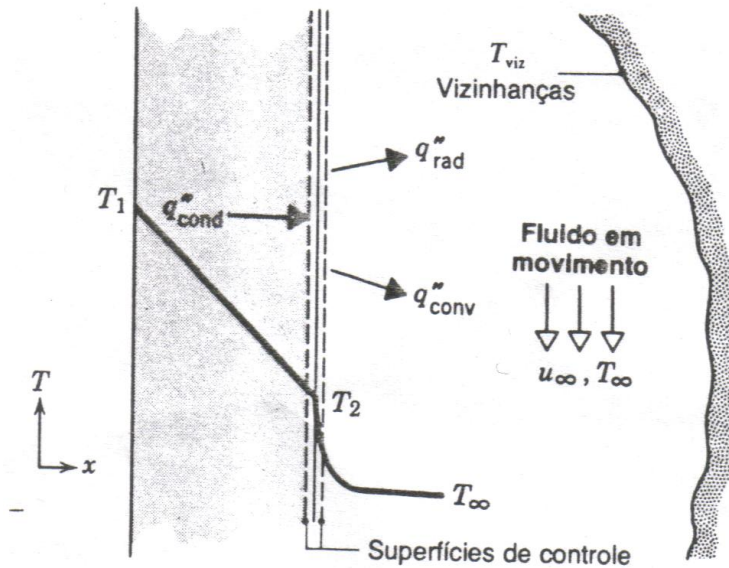
$\sigma \varepsilon$  = emissividade ( $0 < \varepsilon < 1$ )

$T$  = temperatura absoluta ( K ou °Ra)

# 5. Mecanismos combinados

De uma maneira geral, a transferência de calor de um determinado corpo ocorre pelos três modos de transferência de calor simultaneamente.

Exemplo: considere regime estacionário no sólido abaixo.



$$T_i > T_p > T_{\infty}$$

Balanço :  $q_{\text{cond}} = q_{\text{conv}} + q_{\text{rad}}$

$$-kA \frac{(T_2 - T_1)}{x} = hA(T_2 - T_{\infty}) + \sigma \varepsilon A (T_2^4 - T_{\text{viz}}^4)$$

# 5. Regimes de Transmissão

- Estacionário ( permanente)  $\Rightarrow T = f(x,y,z)$   
 $\Rightarrow$  posição do ponto
- Transiente ( transitório)  $\Rightarrow T = f(x,y,z,t) \Rightarrow$   
posição do ponto e tempo (aquecimento  
ou resfriamento).