

Capítulo 1

PME2360 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR
PROF. DR. GUENTHER CARLOS KRIEGER FILHO
guenther@usp.br

1. INTRODUÇÃO

- ***Termodinâmica:***
 - Estados inicial e final envolvendo troca de energia por CALOR E TRABALHO.
 - Não discute a natureza física dos processos de transmissão de calor.
- ***Transmissão de calor:***
 - Discute como e em que taxa (q) o calor é transferido.

1.1 Transferência de Calor (TC)

TC, ou calor, é a ENERGIA em transito – entre sistema e vizinhança - devido a uma diferença de temperatura.

1.2 Mecanismos Físicos de TC

- **1.2.1 Condução**

- Processo relacionado à atividade molecular.
- Transferência de energia de partículas mais energéticas para as de menor energia.

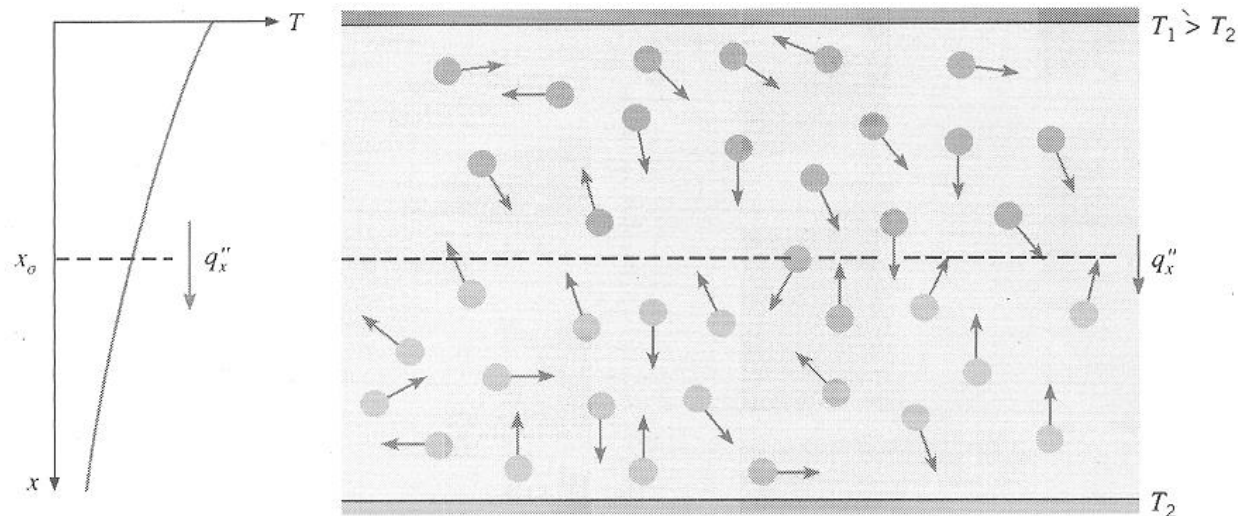


Figura 1.1: Condução ou difusão de energia devido à ação molecular num gás

1.2.1 Condução (continuação)

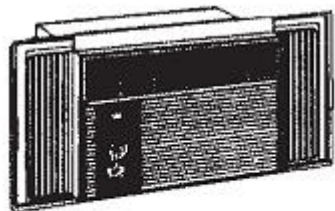
- Temperatura alta \leftrightarrow alta energia.
- Gradiente de temperaturas entre 1 e 2.
- Fluxo aleatório de moléculas através do plano x_0
- Moléculas perto de uma parede tem a mesma temperatura da parede.
- Colisões: Transferência de energia das partículas de maior para as de menor energia (2a Lei).
- Em qualquer processo de colisão, a transferência de energia se dá no sentido de baixar a temperatura das partículas 'quentes'.

1.2.1 Condução (continuação)

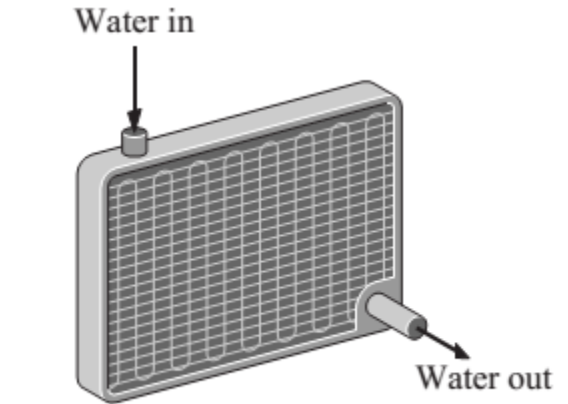
- Macroscopicamente, o movimento aleatório das moléculas resulta num fluxo líquido de energia no sentido positivo de x , ou seja, de temperatura alta para a baixa → DIFUSÃO
- Líquidos → interações moleculares mais intensas
- Sólidos → vibrações ou ondas nos retículos atômicos.
- Material condutor → elétrons livres.

Exemplos

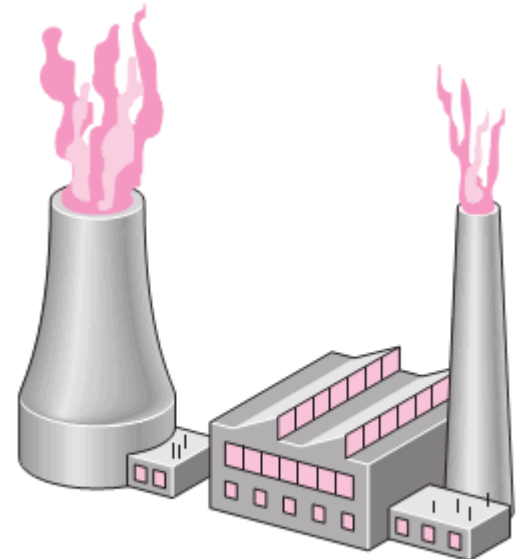
- Colher de café na xícara
- Parede de um edifício
- Forno industrial
- Componentes eletrônicos



Air-conditioning systems



Car radiators



Power plants

Equacionamento

- Lei de Fourier

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx}$$

onde:

$q_x \rightarrow$ Taxa de Transferência de Calor em $[W]$;

$k \rightarrow$ Condutibilidade Térmica em $[W/mK]$

Na forma discreta, o fluxo de energia q_x'' em $[W/m^2]$ pode ser aproximado por:

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (1.2)$$

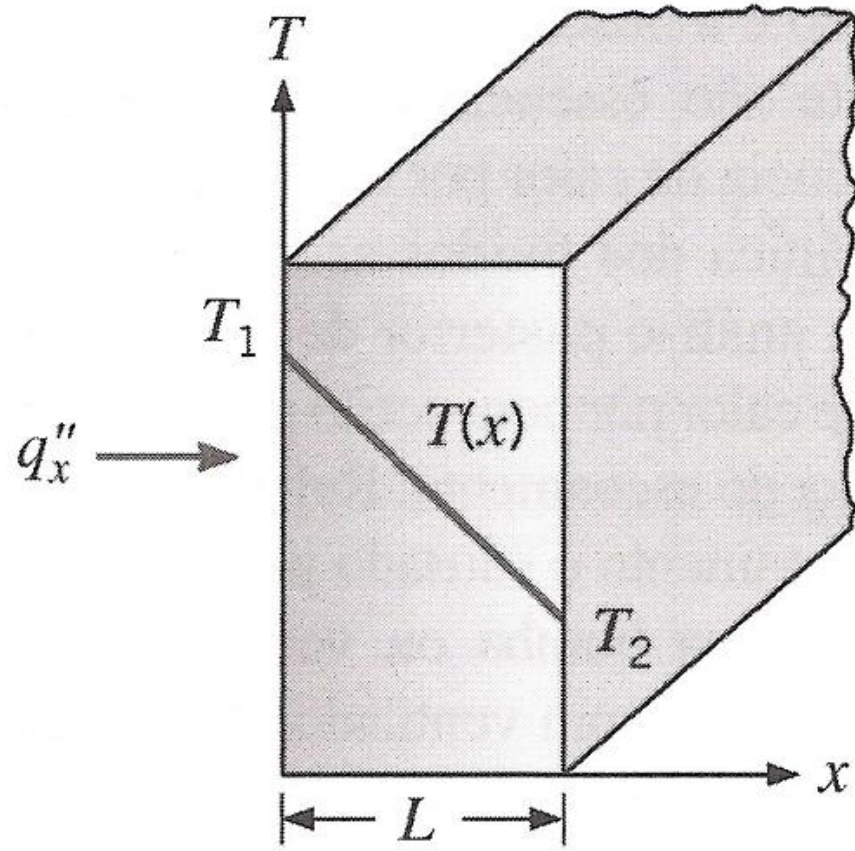


Figura 1.2: Transferência unidimensional de calor por condução

1.2.2 Convecção

- Fluido em movimento - Dois efeitos: Movimento molecular e Movimento global (aglomerado de moléculas).
- Se houver $\Delta T \rightarrow TC$
- Convecção Natural (empuxo) e Forçada (meio externo).
- Camada limite Hidrodinâmica e Térmica.

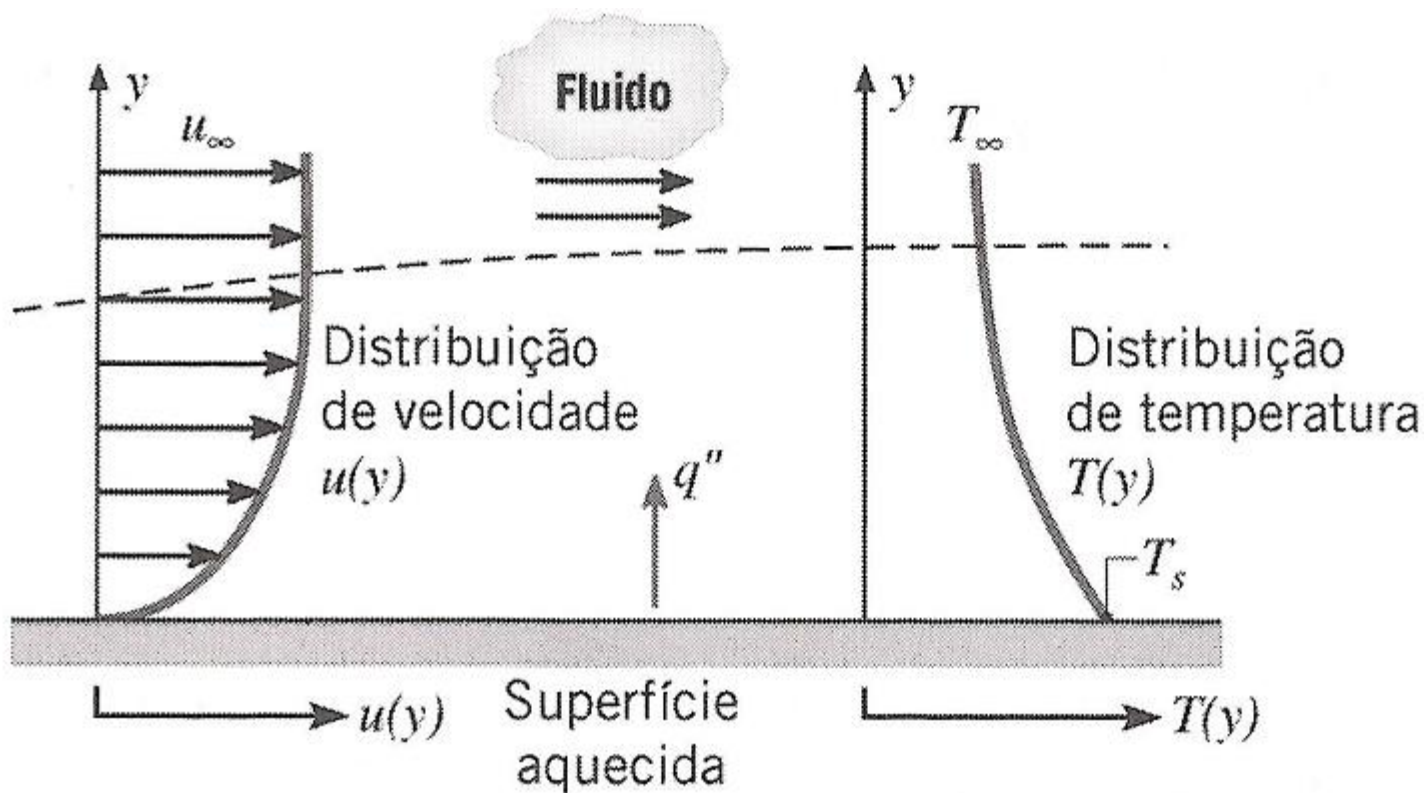


Figura 1.3: Desenvolvimento das camadas limite Térmica e Hidrodinâmica

Equacionamento

- Lei do Resfriamento de Newton

$$q'' = h(T_{sup} - T_{\infty}) \quad (1.3)$$

onde:

$h \rightarrow$ Coeficiente de TC por convecção em W/m^2K ,

$T_{sup} \rightarrow$ Temperatura da superfície,

$T_{\infty} \rightarrow$ Temperatura fora da camada limite térmica.

Processo	h ($W/m^2 \cdot K$)
Convecção livre	
Gases	2-25
Líquidos	50-1000
Convecção forçada	
Gases	25-250
Líquidos	100-20000
Convecção com mudança de fase	
Ebullicão ou condensação	2500-100000

Tabela 1.1: Valores típicos de h

1.2.3 Radiação

- Toda matéria a uma temperatura não nula emite energia por radiação.
- Mudança na configuração eletrônica dos átomos ou moléculas.
- Energia emitida é transmitida por ondas eletromagnéticas (ou fótons).
- Não necessita de meio material. No vácuo é até mais eficiente.

Equacionamento

- Lei de Stefan-Boltzmann

- Limite superior da emitida por uma superfície:

$$E_{cn} = \sigma T^4 \quad (1.4)$$

onde

$$\sigma = 5,670 \times 10^{-8} [W/m^2 K^4],$$

$E_{cn} \rightarrow$ Poder emissivo de Corpo Negro em $[W/m^2]$

- Superfície real emite menos:

$$E = \epsilon\sigma T^4 \quad (1.5)$$

onde

$\epsilon \rightarrow$ Emissividade da Superfície ($0 \leq \epsilon \leq 1$)

- Energia radiante incidente - Irradiação (G)
- Irradiação absorvida pela superfície (G_{abs})

$$G_{abs} = \alpha G \quad (1.6)$$

onde

$\alpha \rightarrow$ Absortividade da Superfície

- Lei de Kirchhoff: $\boxed{\alpha_\lambda = \epsilon_\lambda}$

- Fluxo líquido de Radiação para uma superfície:

$$q_{rad}'' = \epsilon E_{cn}(T_{sup}) - \alpha G_{viz} = \epsilon \sigma (T_{sup}^4 - T_{viz}^4) \quad (1.7)$$

- Linearização do fluxo de calor com h_{rad}

$$q_{rad}'' = h_{rad}(T_{sup} - T_{viz}) \quad (1.8)$$

onde

$$h_{rad} = \epsilon \sigma (T_{sup} + T_{viz})(T_{sup}^2 + T_{viz}^2) \quad (1.9)$$

RESUMO DA AULA

- Transferência de Calor $\leftrightarrow \Delta T$
- *Condução*: atividade atômica/molecular; Lei de Fourier
- *Convecção*: movimento global do fluido e molecular;
Lei de Resfriamento de Newton
- *Radiação*: energia emitida por ondas eletromagnéticas;
Lei de Stefan-Boltzmann