

UFV



# Introdução Transferência de calor

---

## *Capítulo* *1*



INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P; BERGAMAN,  
T. L.; LAVINE, A. S. Fundamentos de  
transferência de calor e massa. 5ª Edição.

Rio de Janeiro: LTC, 2008.







Pamela Cabral

pamela.cabral@ufv.br





# *Por que estudamos transferência de calor?*

Inúmeras aplicações para resolução de problemas de engenharia

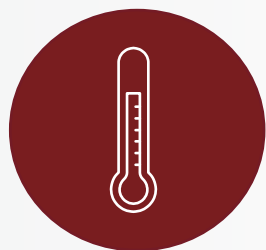
-  Refrigeração de motores e ventilação
-  Projeto de fornos, regeneradores e conversores
-  Estudos sobre evaporação, condensação, trabalhos em refinarias e reatores
-  Transformadores, geradores e dissipadores de calor

# *Por que estudamos transferência de calor?*

Inúmeras aplicações para resolução de problemas de engenharia

-  Caldeiras e máquinas térmicas
-  Isolamento e conforto térmico
-  Geração de eletricidade, condensadores e turbinas
-  Torres de refrigeração e recirculação

# [ Temperatura]

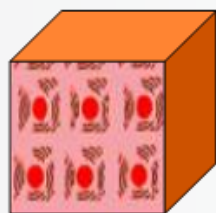


O que é?

Temperatura é uma medida do “grau de agitação” (movimentação) das moléculas de um corpo

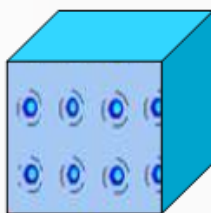
Quanto maior a temperatura maior o estado de agitação

corpo A



80°C

corpo B

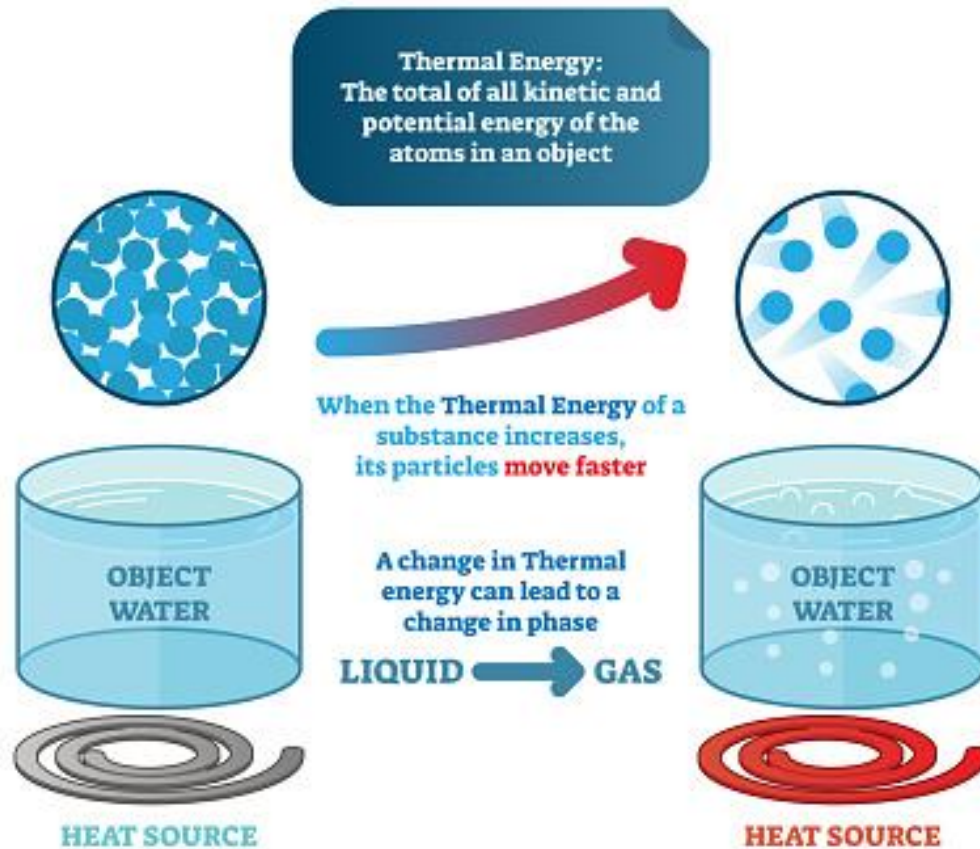


10°C



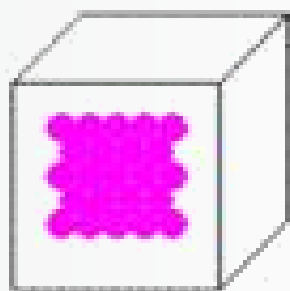
[  
Temperature

# THERMAL ENERGY

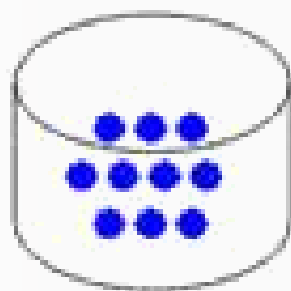




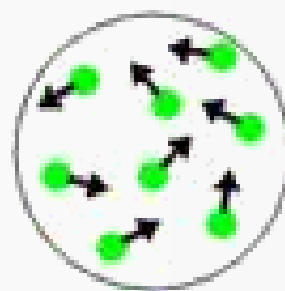
# [ Temperatura]



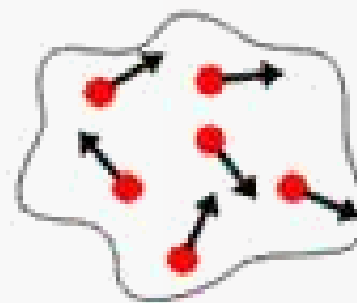
**FRIO**  
Sólido  
(Gelo)



**MORNO**  
Líquido  
(Água)

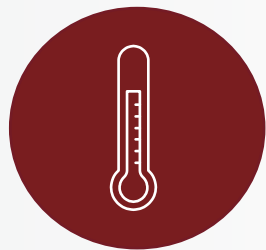


**QUENTE**  
Gás  
(Vapor)

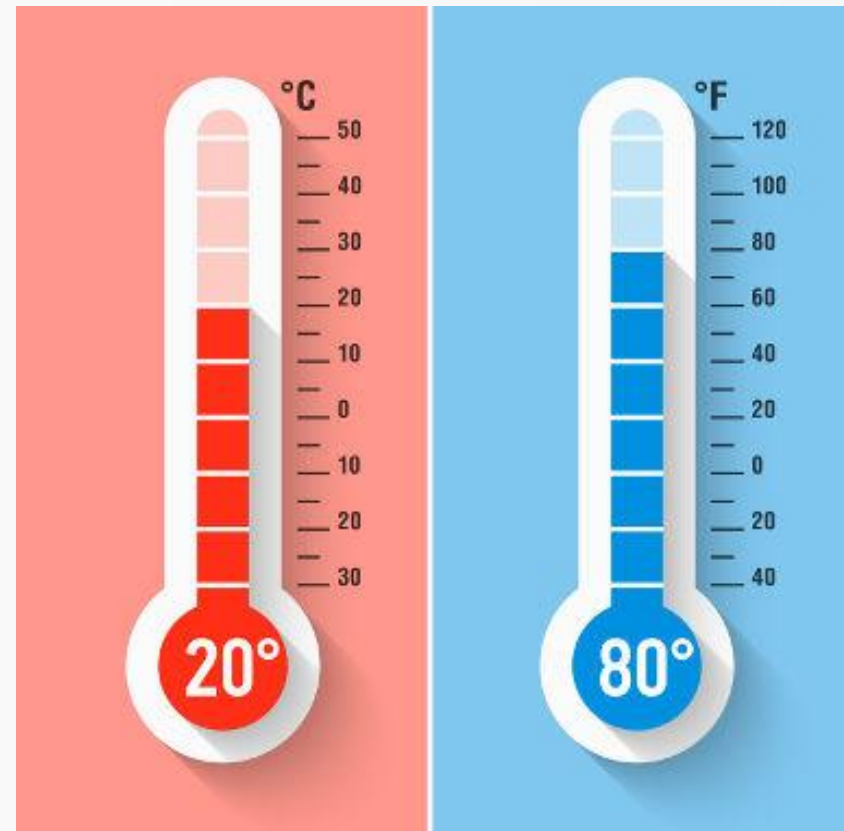


**MUITO QUENTE**  
Plasma  
(Gás ionizado)

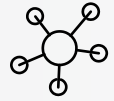
# [ Temperatura]



A quantidade que informa quão quente ou frio um objeto está em relação a algum padrão é o que chamamos de temperatura.

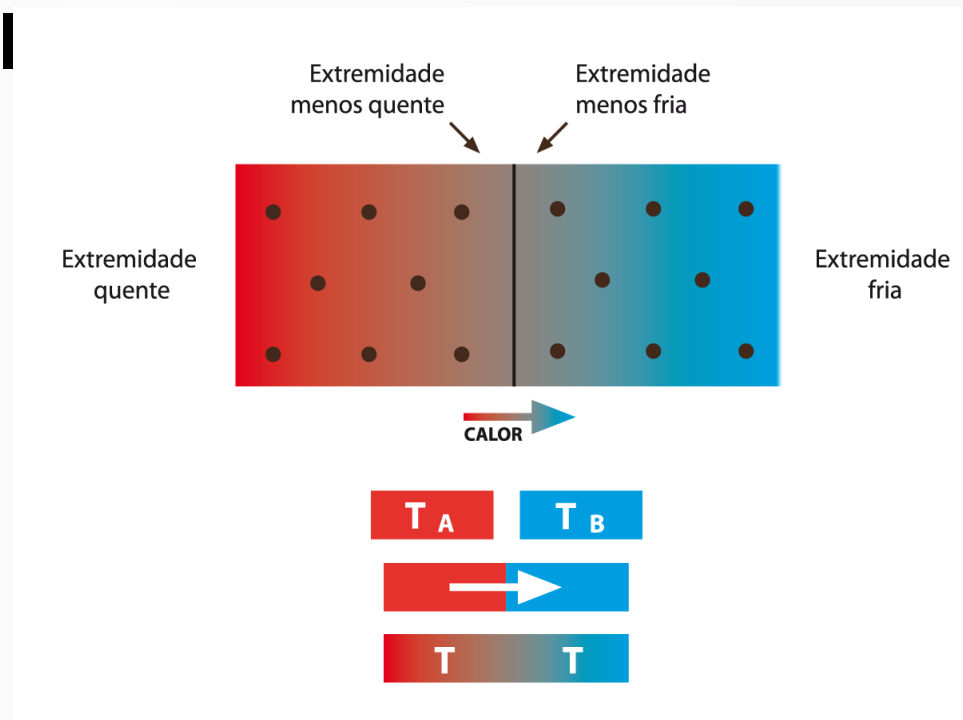




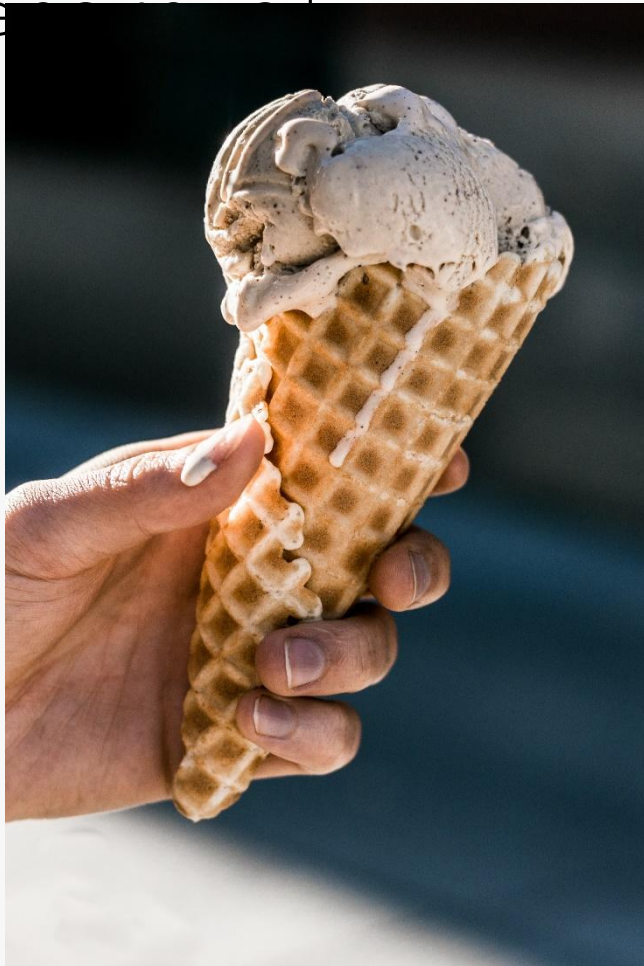


## [ Transferência de energia]

A energia transferida de um corpo para outro ocasionada por uma diferença de temperatura entre elas é chamada de **cal**

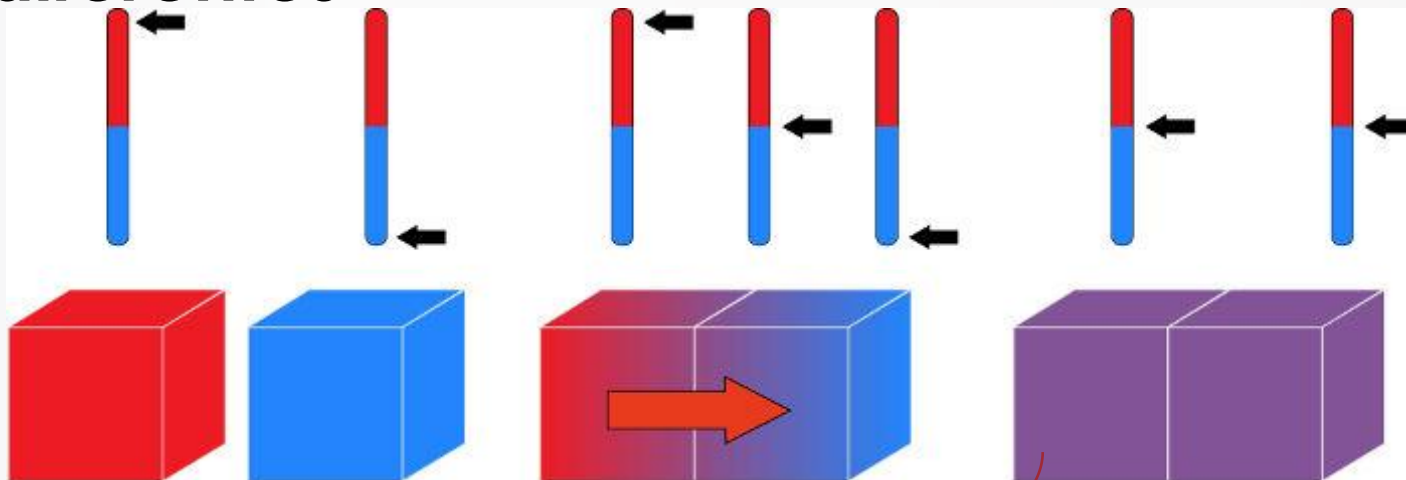


# ❖ [ Transferência de





Calor é a energia térmica em trânsito entre corpos com **temperaturas diferentes**



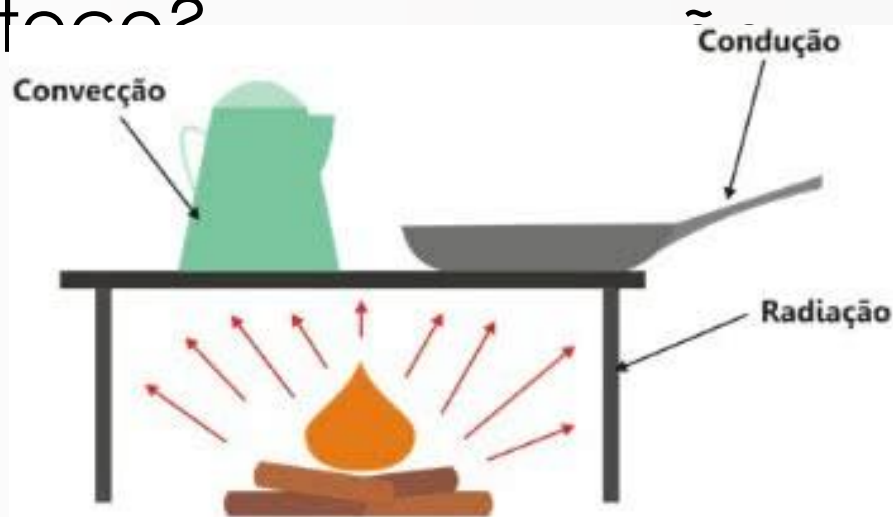
Equilíbrio  
térmico

# [ Mecanismos de transferência de calor]



Como  
acontece?

Condução  
Convecção  
Radiação

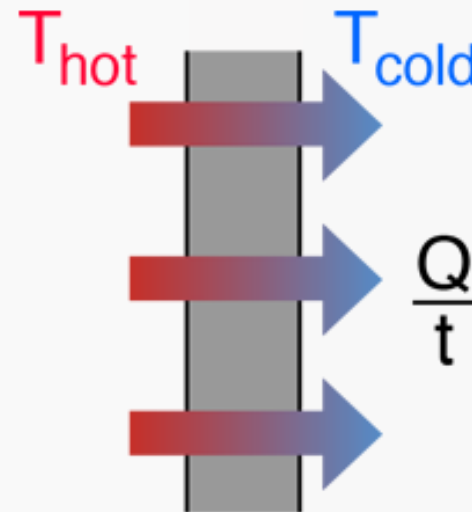
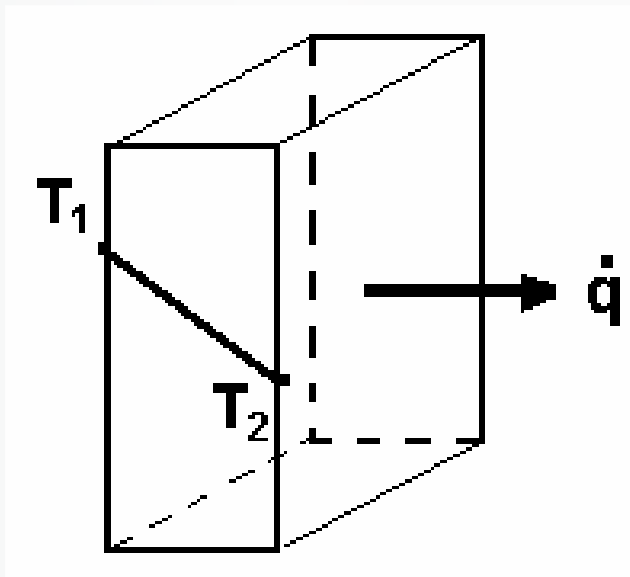


# [ Mecanismos de transferência de calor]

## Condução



Ocorre quando existe um gradiente de temperatura em um **meio estacionário**





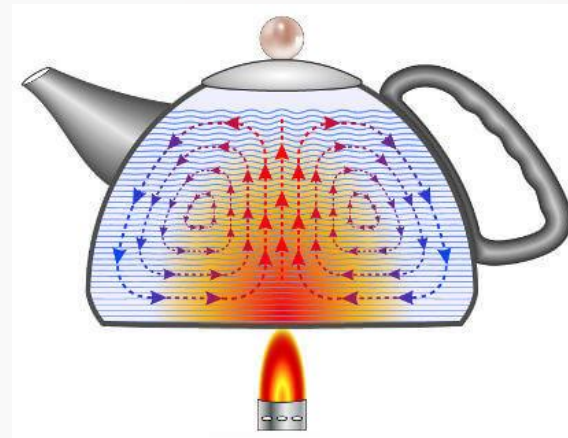


# [ Mecanismos de transferência de calor]

## *Convecção*



Ocorre entre uma **superfície e um fluido em movimento** quando eles estão a diferentes temperaturas.



# CONVECTION

**Sea  
breeze**



**Land  
breeze**



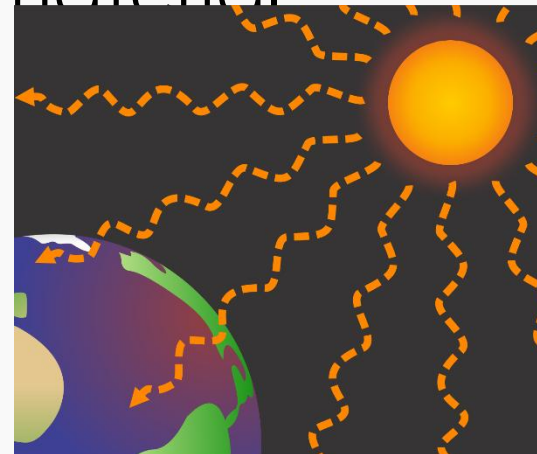
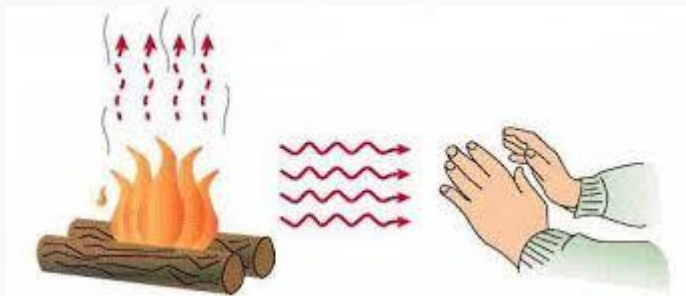


# [ Mecanismos de transferência de calor]

## *Radiação*



É uma forma de energia emitida por toda a superfície que tem temperatura absoluta maior que zero. Essa forma de transferência de calor não exige a presença de meio material



## Pontos

### importantes

🚩 **Entender os mecanismos físicos que fundamentam os modos de transferência de calor** - identificação dos fenômenos e relevância de cada um deles nas situações de interesse

🚩 **Utilizar as equações da taxas/fluxo** - determinam a quantidade de energia transferida por uma unidade de tempo/área

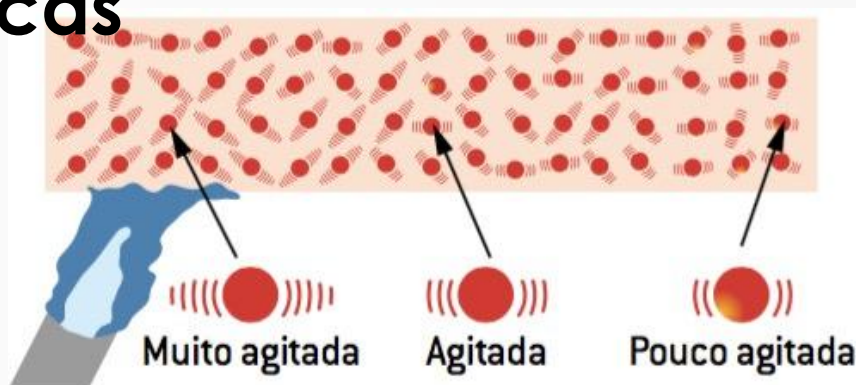
$$Taxa = \frac{\text{Quantidade de energia}}{\text{tempo}}$$

$$Fluxo = \frac{Taxa}{Area}$$

# [Origens físicas e equações para cálculo da taxa] Condução

🌡 A transferência de calor por condução ocorre por interação molecular que está associada a **energia cinética** entre as partículas

🌡 Transferência de energia ocorre das partículas **mais energéticas** para as **menos energéticas**



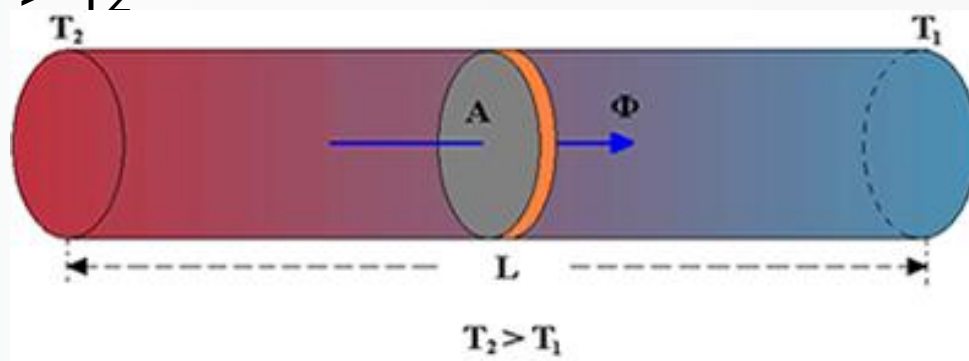
[Origens físicas e equações para cálculo da taxa]

*Lei de  
Fourier*



Quantifica o processo de transferência de calor por condução

Considere uma barra fina metálica com extremidades à diferentes temperaturas,  $T_1$  e  $T_2$ , onde  $T_1 > T_2$



# [Propriedade de transporte]

*Condutividade térmica*  
( $k$ )



Propriedade física do material



Essa propriedade difere os materiais entre condutores e isolantes

$$\left[ k = \frac{W}{m K} \right] SI$$

Material	k (W/mK)
Prata	410
Cobre	385
Alumínio	202
Vidro	0,78
Água	0,56
Hidrogênio	0,18
Hélio	0,14
Ar	0,02

### *Exemplo 1*

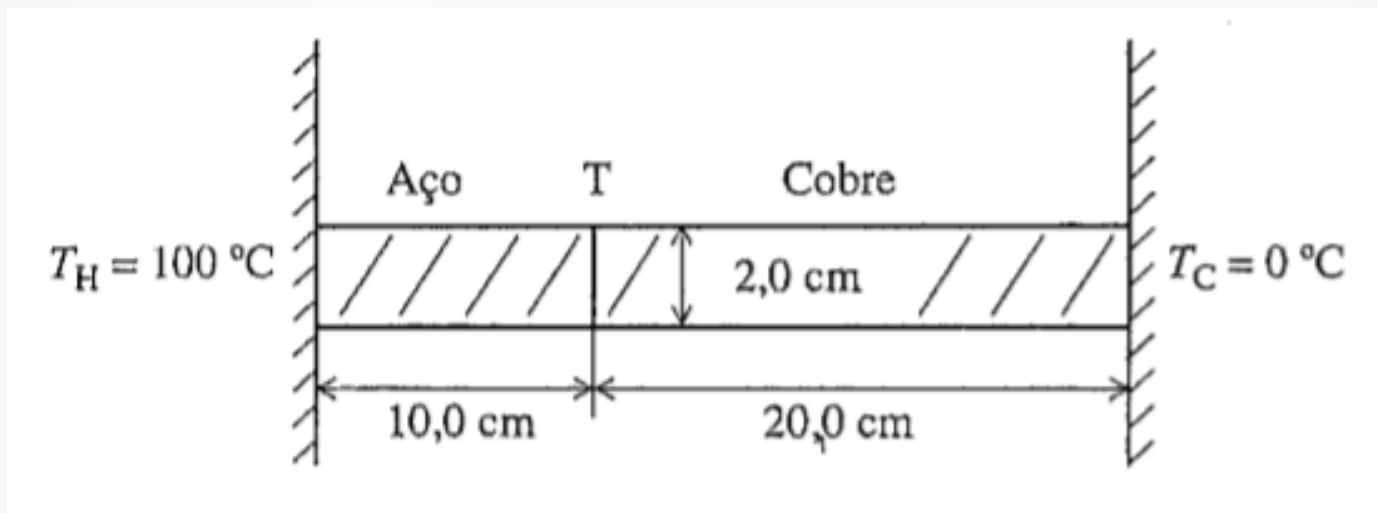
Uma caixa de isopor usada para manter as bebidas frias possui área total (incluindo a tampa) igual a  $0,80 \text{ m}^2$ , e a espessura de sua parede mede  $2,0 \text{ cm}$ . A caixa está cheia de água, gelo e latas de Coca-Cola a  $0^\circ\text{C}$ . Qual é a taxa de fluxo de calor para o interior da caixa, se a temperatura da parede externa for  $30^\circ\text{C}$ ?

$$K_{\text{isopor}} = 0,01 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

## *Exemplo 2*

Uma barra de aço de 10,0 cm de comprimento é soldada pela extremidade a uma barra de cobre de 20,0 cm de comprimento. As duas barras são perfeitamente isoladas em suas partes laterais. A seção transversal das duas barras é um quadrado de lado igual a 2,0 cm. A extremidade livre da barra de aço é mantida a  $100^{\circ}\text{C}$  pelo contato com vapor d'água obtido por ebulição, e a extremidade livre da barra de cobre é mantida a  $0^{\circ}\text{C}$  por estar em contato com gelo. Calcule a temperatura na junção entre as duas barras e a taxa total de calor.

## Exemplo 2





$$K_{\text{cobre}} = 385 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$$

$$K_{\text{aço}} = 50,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$$



[Origens físicas e equações para cálculo da taxa]  
*Convecção*

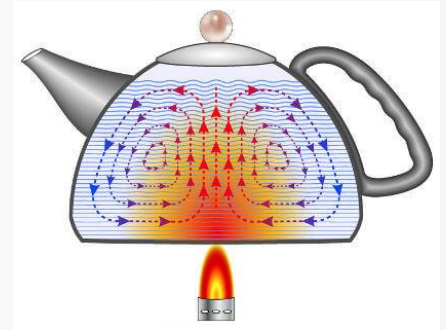
 Convecção pode ser dar por dois diferentes mecanismos: movimento molecular aleatório e **movimento global fluido**

 Estudaremos a transferência de calor que ocorre por convecção entre um fluido em movimento e uma superfície, quando houver diferença de temperatura

[Camada Limite]

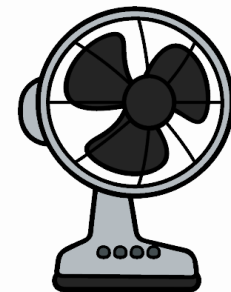
*Convecção natural*

🌡️ O escoamento do fluido é **induzido por forças de empuxo**, água fervendo em uma chaleira



*Convecção forçada*

🌡️ quando o escoamento é causado por meios externos, tais como ventiladores, bombas, ventos atmosféricos



[Origens físicas e equações para cálculo da taxa]

*Lei de resfriamento de Newton*

 O fluxo de calor é diretamente proporcional a diferença de temperatura

Considere um recipiente com um fluido uma temperatura  $T_1$ . Este recipiente é colocado em um ambiente a uma temperatura  $0^\circ$

# [Propriedade de transporte]

## *Coeficiente convectivo*



Este parâmetro depende das condições da camada-limite, as quais por sua vez, são influenciadas pela geometria da superfície, pela natureza do escoamento do fluido e por uma série de propriedades termodinâmica de transporte do fluido

Processo		h (W/m²K)
Convecção natural	gases	2-25
	líquidos	50-1000
Convecção forçada	gases	25-250
	líquidos	100-20000

$$\left[ k = \frac{W}{m^2 K} \right] \text{ SI}$$


### *Exemplo 3*

Um aquecedor elétrico encontra-se no interior de um longo cilindro de diâmetro igual a 30 mm. Quando água, a uma temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  e velocidade de  $1 \text{ m/s}$ , escoar perpendicularmente ao cilindro a potência por unidade de comprimento necessária para manter a superfície do cilindro a uma temperatura uniforme de  $90^{\circ}\text{C}$  é de  $28 \times 10^3 \text{ W/m}$ . Calcule o coeficiente convectivo de transferência de calor.

[Origens físicas e equações para cálculo da taxa]  
*Radiação*

 **Não** exigem a presença de um **meio material**


 A emissão da radiação térmica está associada à **energia liberada** como resultado das oscilações ou transições dos elétrons.

 Sustentadas pela energia interna, e consequentemente, pela temperatura da matéria

[Origens físicas e equações para cálculo da taxa]  
*Radiação*

 **Não** exigem a presença de um **meio material**


 A emissão da radiação térmica está associada à **energia liberada** como resultado das oscilações ou transições dos elétrons.

 Sustentadas pela energia interna, e consequentemente, pela temperatura da matéria

[Origens físicas e equações para cálculo da taxa]  
*Radiação*

 **Não** exigem a presença de um **meio material**

 A emissão da radiação térmica está associada à **energia liberada** como resultado das oscilações ou transições dos elétrons.

 Sustentadas pela energia interna, e consequentemente, pela temperatura da matéria



## [Propriedade de transporte]

### *Poder emissivo*



A taxa na qual a energia radiante é emitida por uma superfície, por unidade de área

$$E_b = \sigma T_s^4$$

Limite superior para o poder emissivo conhecido como Lei de Stefan-Boltzmann.

$T_s$  - Temperatura absoluta (K) da superfície.

$\sigma$  - Constante de Stefan-Boltzmann =  $5,67 \times 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>)

$$\left[ k = \frac{W}{m^2} \right] \text{ SI}$$

## [Propriedade de transporte]

### *Emissividade*



Emissividade é uma propriedade da superfície que depende do material que constitui a superfície, do acabamento e temperatura

$$E_b = \sigma T_s^4$$

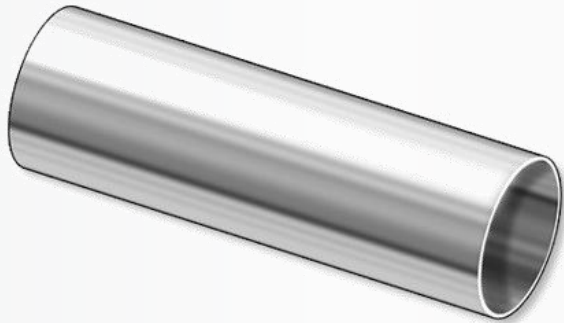
Radiador ideal ou corpo negro

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4$$

Superfície real  $0 \leq \varepsilon \leq 1$

# [Propriedade de transporte]

## *Emissividade*



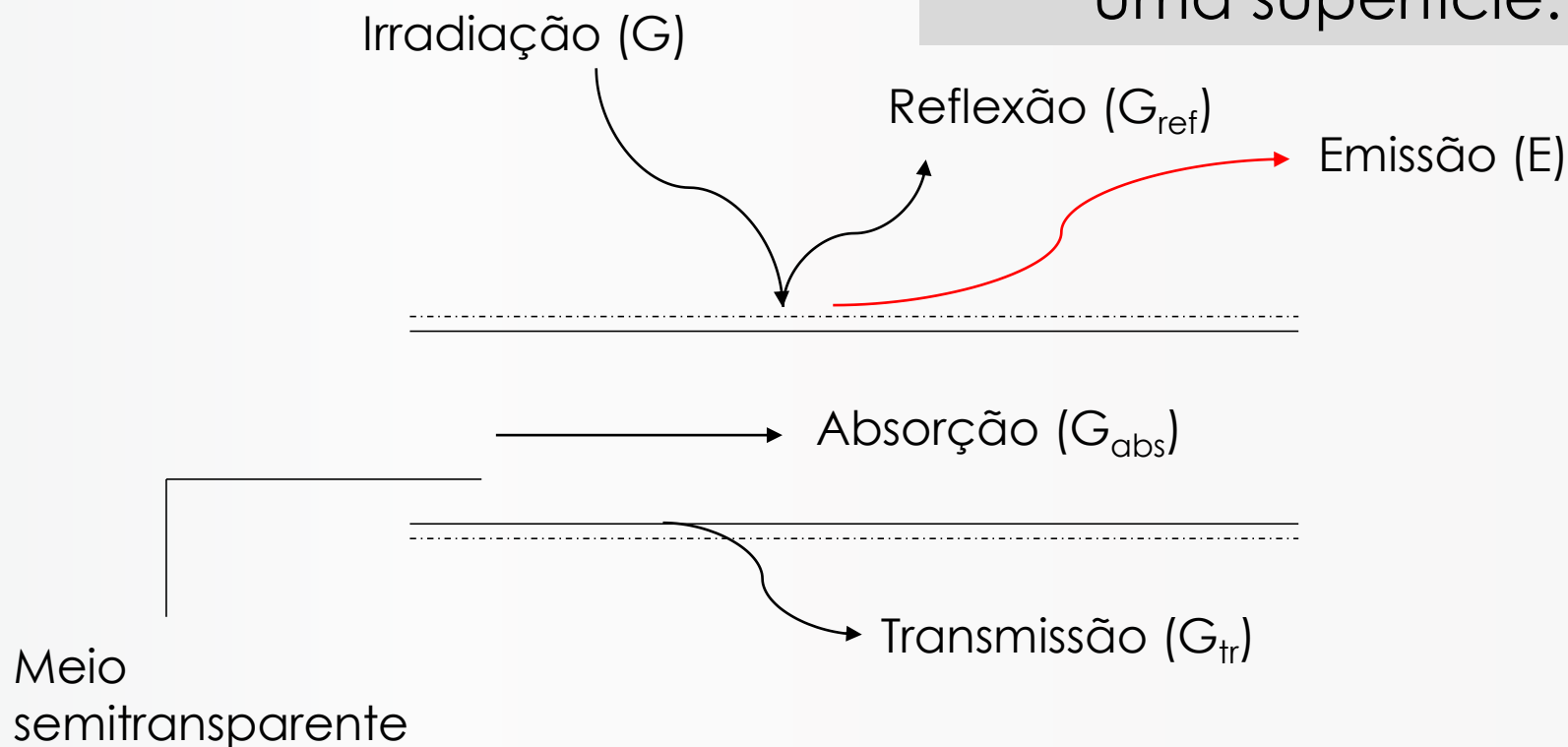
Emissividade para alumínio  
polido = 0,04



Emissividade para o asfalto  
= 0,93

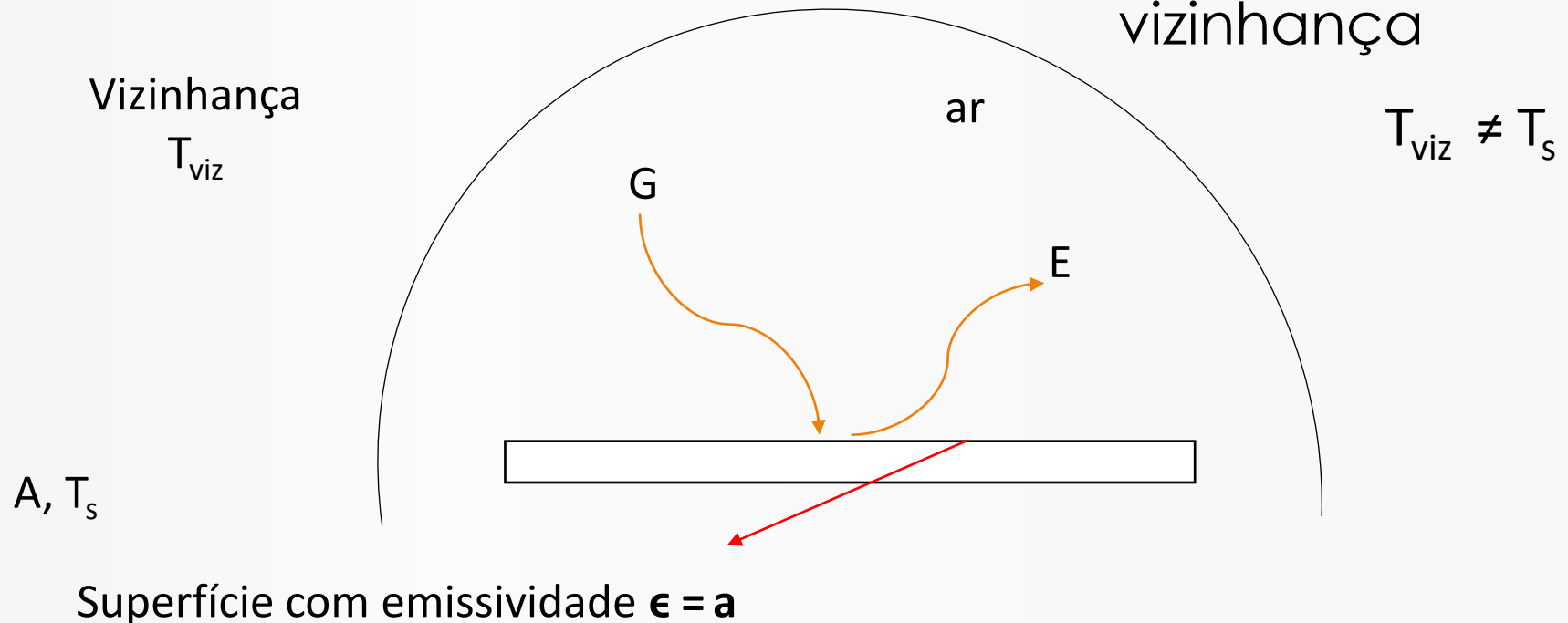
[Radiação incidente]

$G$  - radiação incidente por unidade de área em uma superfície.



A Irradiação pode ser oriunda do sol ou de outras superfícies às quais a superfície de interesse esteja exposta.

[Radiação incidente] Radiação pode também incidir (**G**) sobre uma superfície a partir de sua vizinhança



Nessas condições a **irradiação (G)** pode ser aproximada pela emissão de um **corpo negro ( $E_b$ )**;  $G = s(T_{viz}^4)$

### Exemplo 4

Uma tubulação de vapor d'água sem isolamento térmico atravessa uma sala na qual o ar e as paredes se encontram a  $25^{\circ}\text{C}$ . O diâmetro externo do tubo é de 70mm, a temperatura de sua superfície é de  $200^{\circ}\text{C}$  e esta superfície tem emissividade igual a 0,8. Qual o poder emissivo da superfície? Sendo o coeficiente associado a TC por convecção natural da superfície para o ar de  $15\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ , qual é a taxa de calor perdida pela superfície por unidade de comprimento do tubo?

