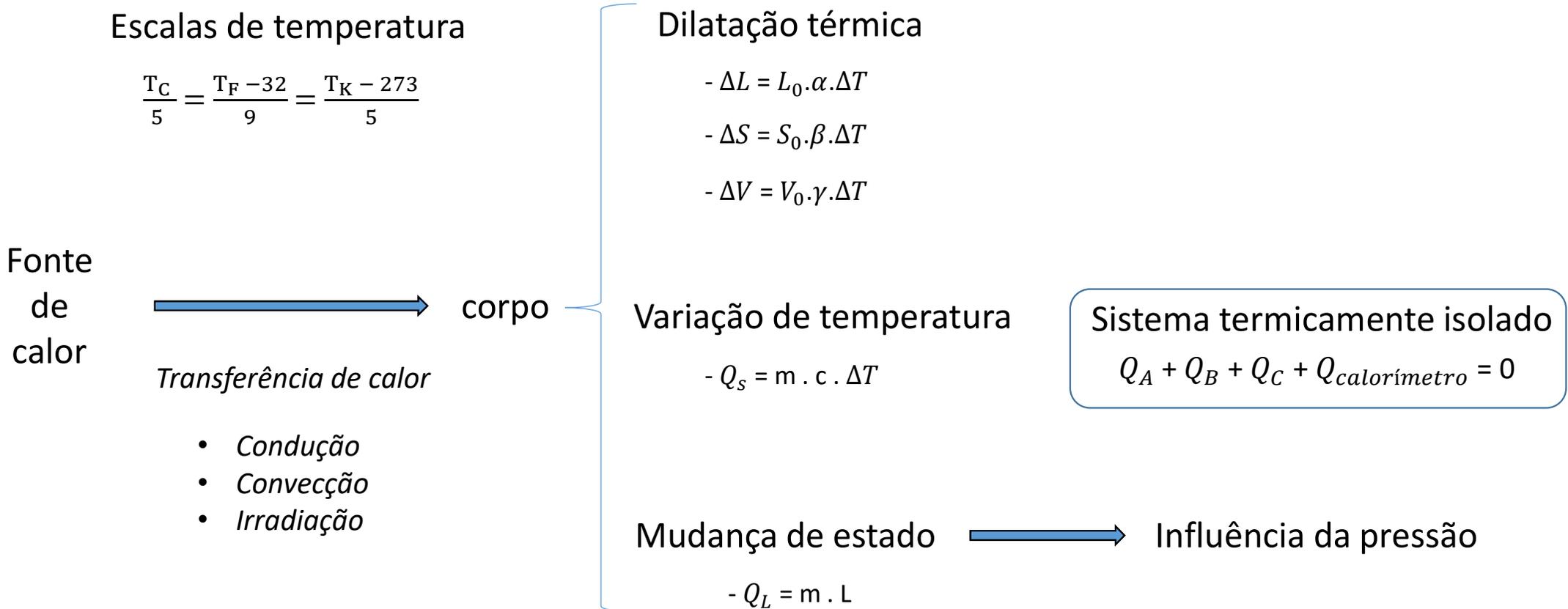


Processos de transferência de calor ou propagação de calor

- Aulas 13 e 14 / Pg. 513 / Tetra 1
- Aula 7 / Pg 414 / Hexa 1
- SL 02 - Mapa conceitual
- SL 03 - Teoria
- SL 19 - Exercícios

Apresentação e demais documentos: fisicasp.com.br

Mapa conceitual



Calor

- Trânsito de energia térmica que ocorre, espontaneamente, do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura.
- Calor é energia em trânsito. O corpo não possui calor ou armazena calor. Por isso o termo “estou com calor” não é correto.
- Podemos dizer que os corpos armazenam energia térmica. A energia térmica é a energia que tem origem na agitação das partículas.
- Os corpos não trocam temperatura.
- A quantidade de calor (Q) é medida de Joules (J) no S.I.
- $1 \text{ cal} \cong 4,2 \text{ J}$

Calor causando
alteração da
temperatura:
calor sensível

Calor causando
mudança de
estado físico:
calor latente

A



B



CALOR

Antes:

$$T_A > T_B$$

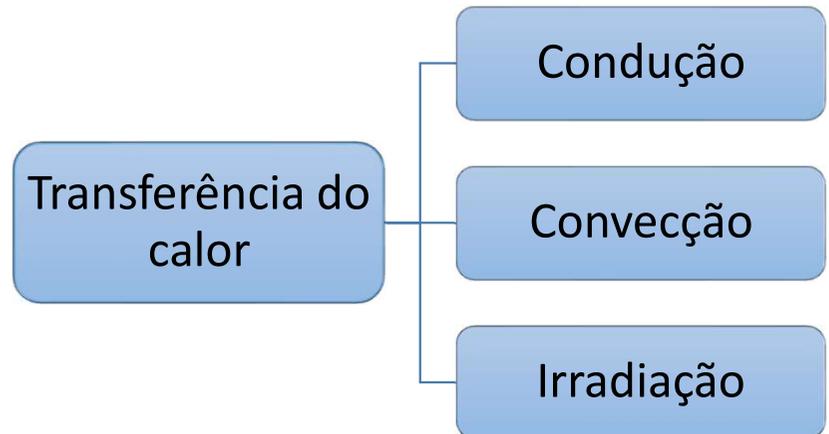
Depois:

equilíbrio térmico

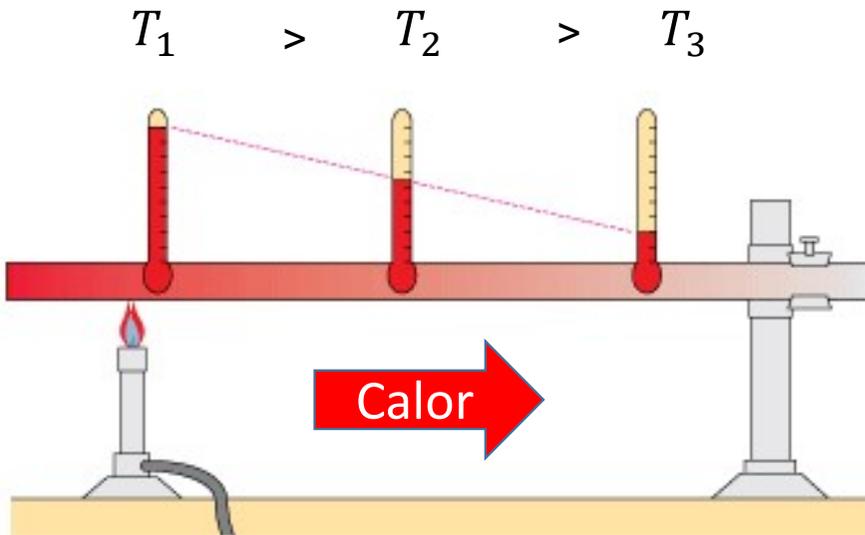
$$T'_A = T'_B$$



Processos de transferência de calor



Condução



- Transferência de calor por colisões entre as partículas.
- Mais intensa em meios sólidos.
- Necessidade de um meio material (não ocorre no vácuo).
- Sem transporte de matéria.

- Dicas:

- Bons condutores de calor: metais
- Maus condutores de calor ou isolantes térmicos:

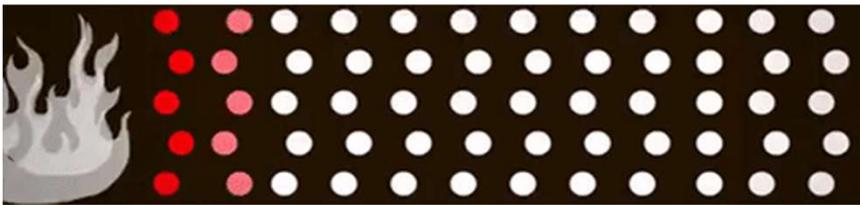
Ar (gases em geral)

Vidro

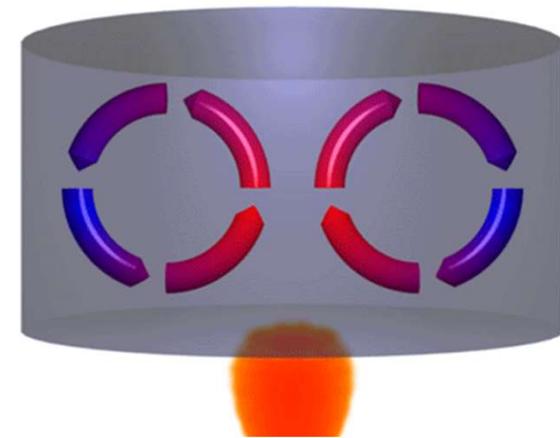
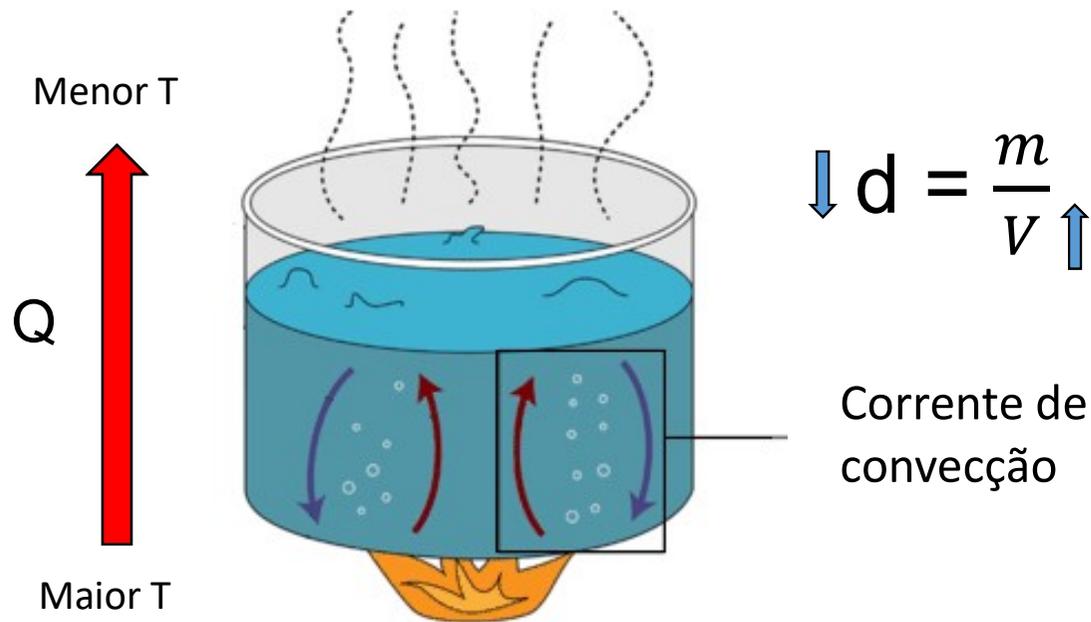
Isopor

Madeira

Plástico

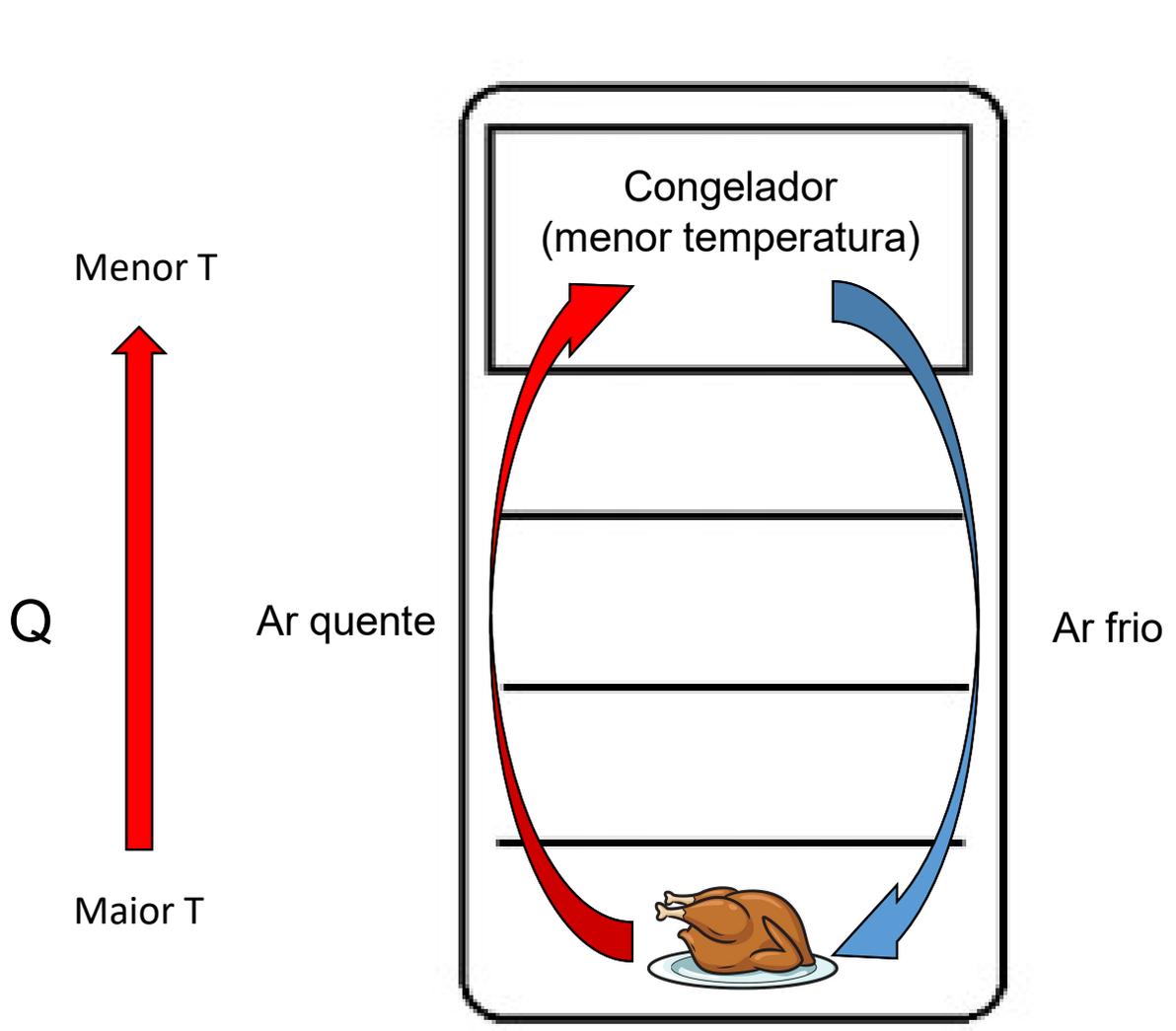


Convecção



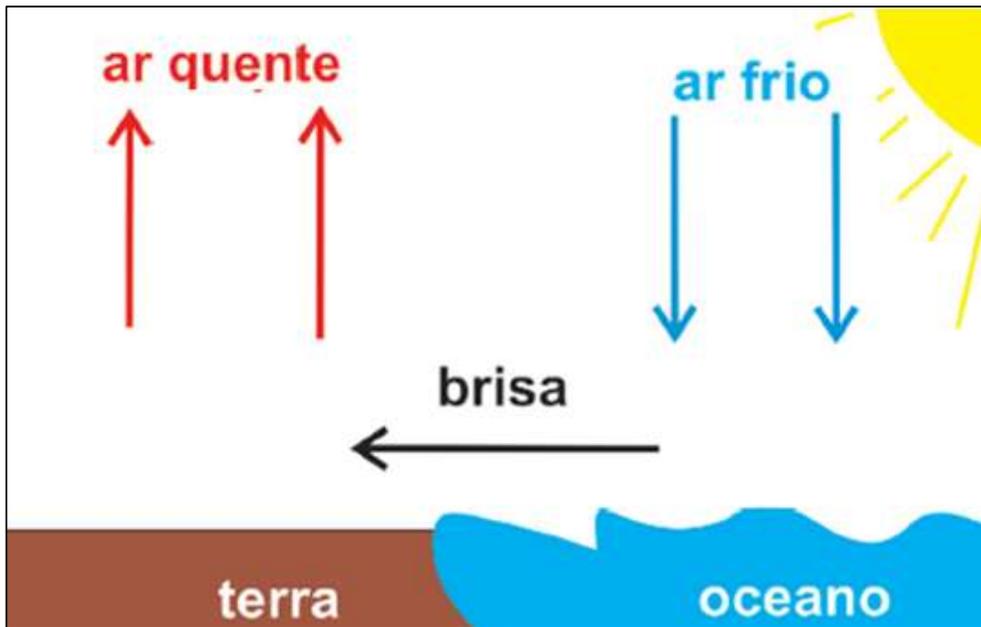
- Transferência de calor que ocorre devido à movimentação da matéria
- A movimentação da matéria se dá em virtude das diferenças de densidade e ação da gravidade.
- Ocorre somente nos gases e líquidos.
- Necessidade de um meio material (não ocorre no vácuo).
- Com transporte de matéria.

Convecção (exemplo da geladeira)



Convecção (brisa marítima e continental)

Dia: brisa marítima



Maior temperatura

Menor temperatura

Noite: brisa continental



Menor temperatura

Maior temperatura

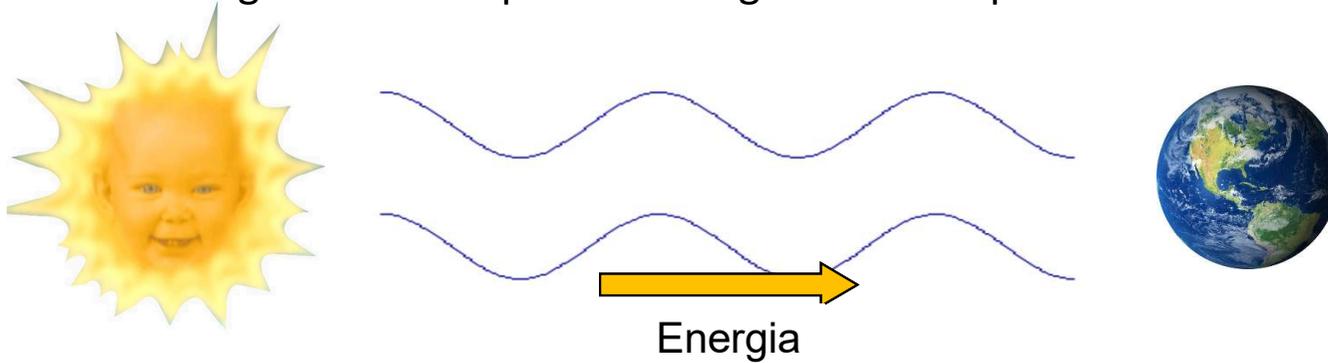
Revisão

Pré-requisito: o conceito de onda eletromagnética.

- Cargas elétricas oscilando emitem ondas eletromagnéticas

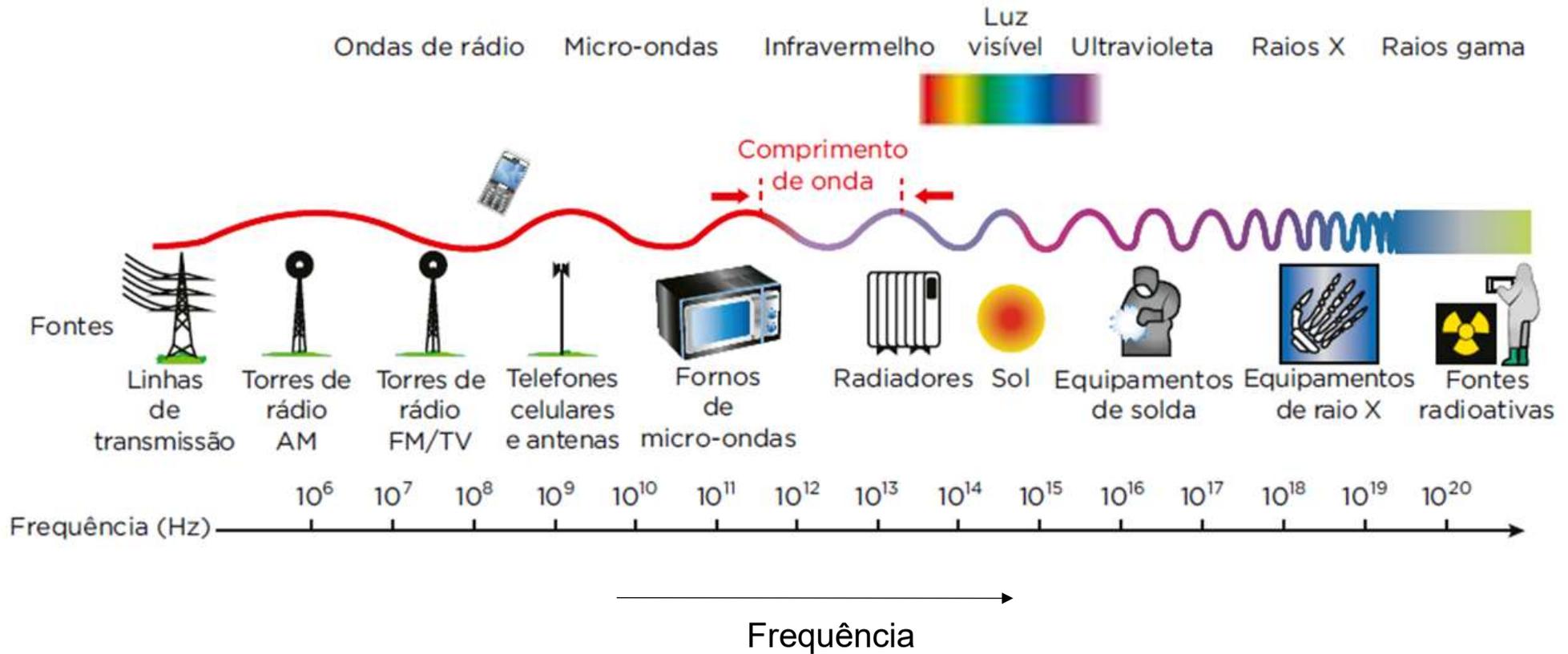


- Ondas de natureza eletromagnética podem viajar no vácuo e em meios materiais.
- Ondas eletromagnéticas transportam energia sem transportar matéria.

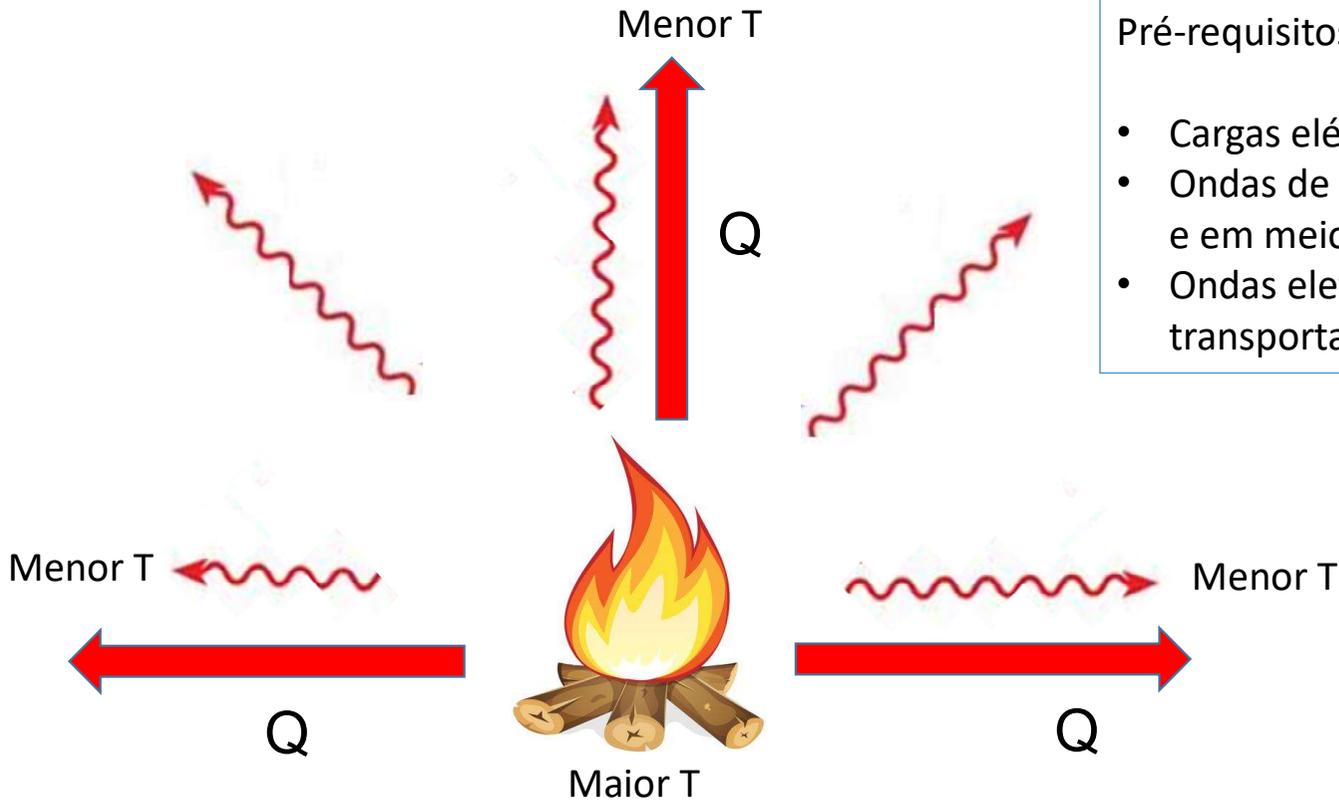


Revisão

O espectro eletromagnético: conjunto das ondas eletromagnéticas conhecidas



Irradiação



Pré-requisitos:

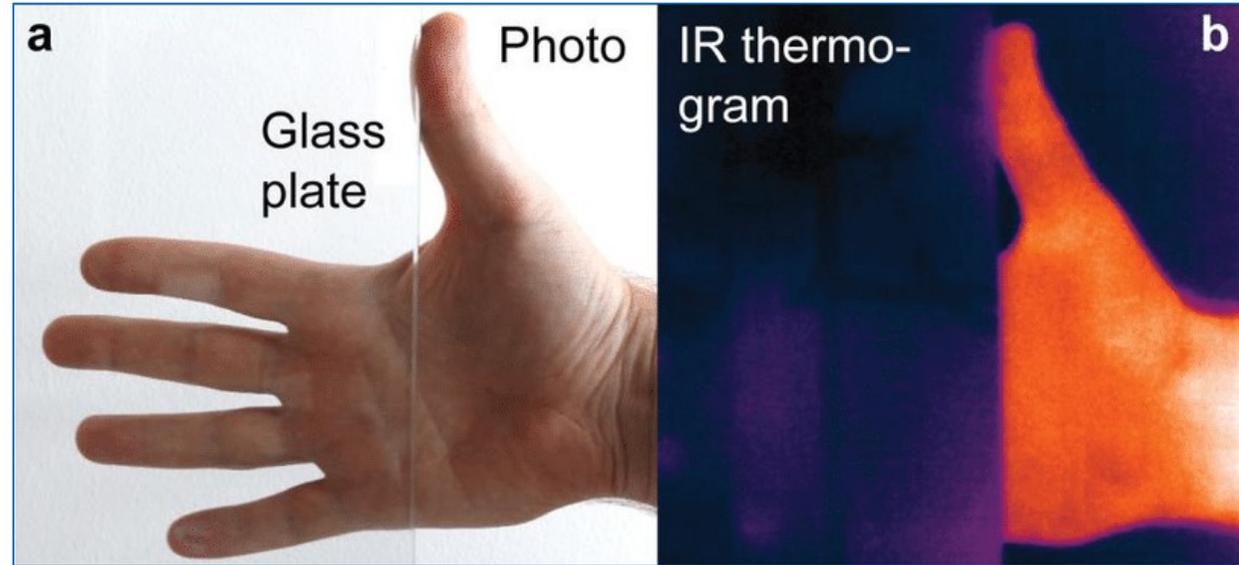
- Cargas elétricas oscilando emitem ondas eletromagnéticas
- Ondas de natureza eletromagnética podem viajar no vácuo e em meios materiais.
- Ondas eletromagnéticas transportam energia sem transportar matéria.

- Transferência de calor por ondas eletromagnéticas (radiação infravermelha).
- Não há necessidade de um meio material (pode ocorrer no vácuo).
- Pode ocorrer nos sólidos, líquidos e gases.

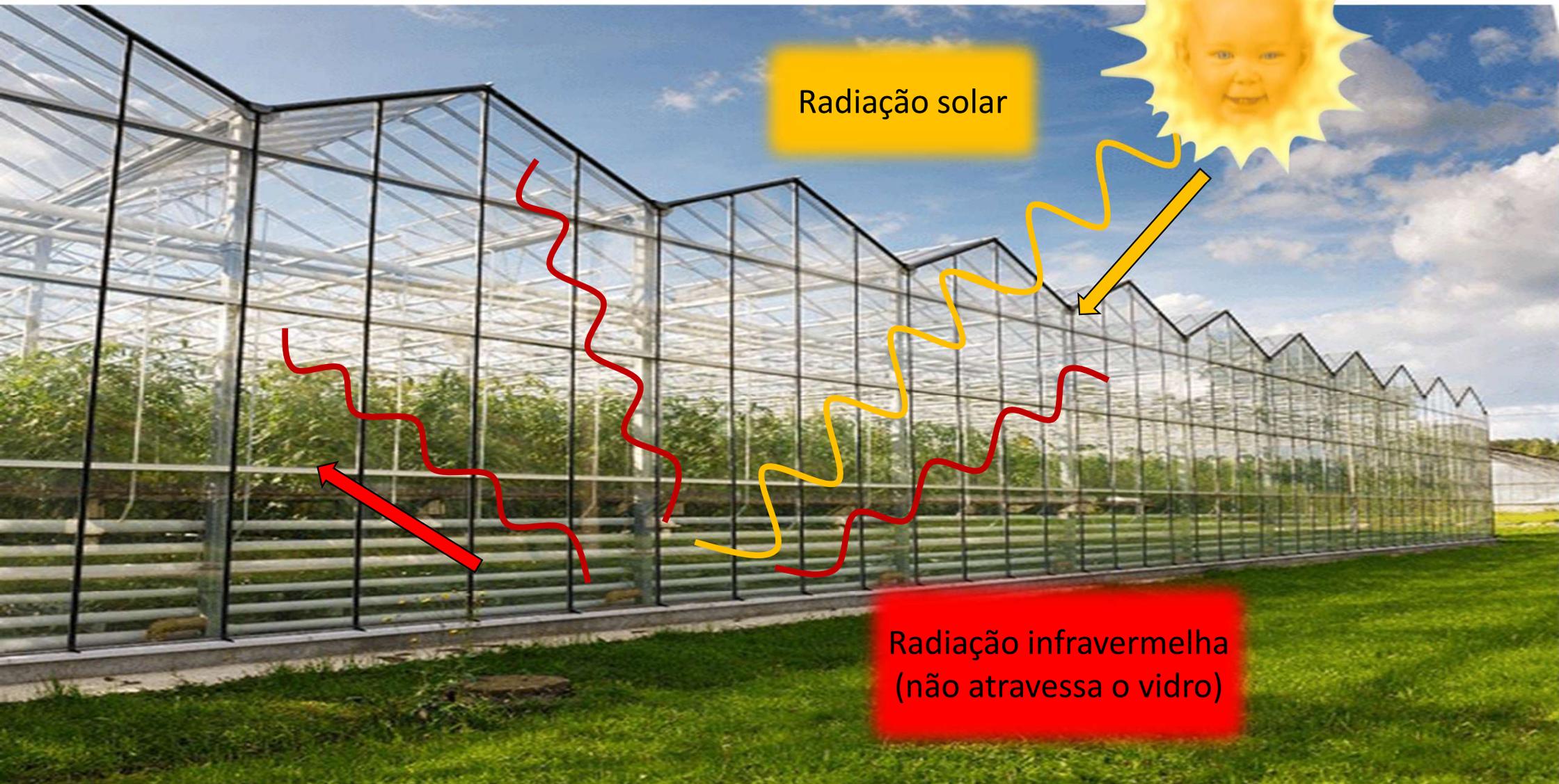
Emissão de radiação infravermelha



Radiação infravermelha e vidro



Irradiação (estufa)



Radiação solar

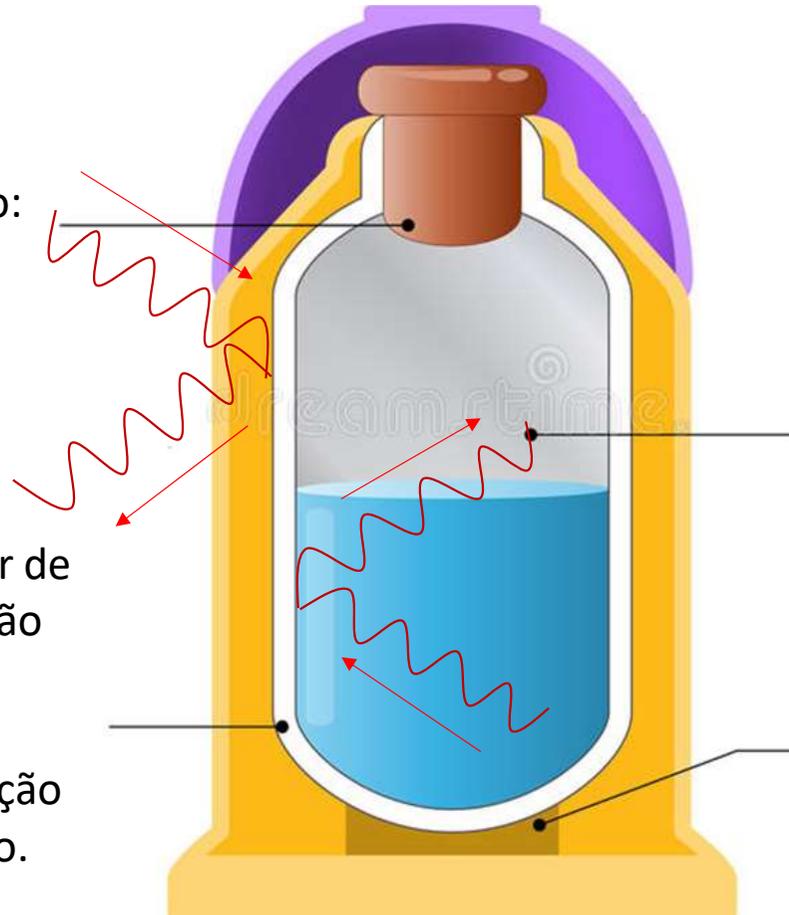
Radiação infravermelha
(não atravessa o vidro)

Vaso de Dewar (garrafa térmica)

Tampa constituída de material isolante térmico: redução da condução.

Paredes duplas (mau condutor de calor): redução da transmissão por condução

Vácuo entre as paredes: redução da condução e da convecção.



Paredes espelhadas refletem parte das ondas eletromagnéticas: redução da transmissão por irradiação.

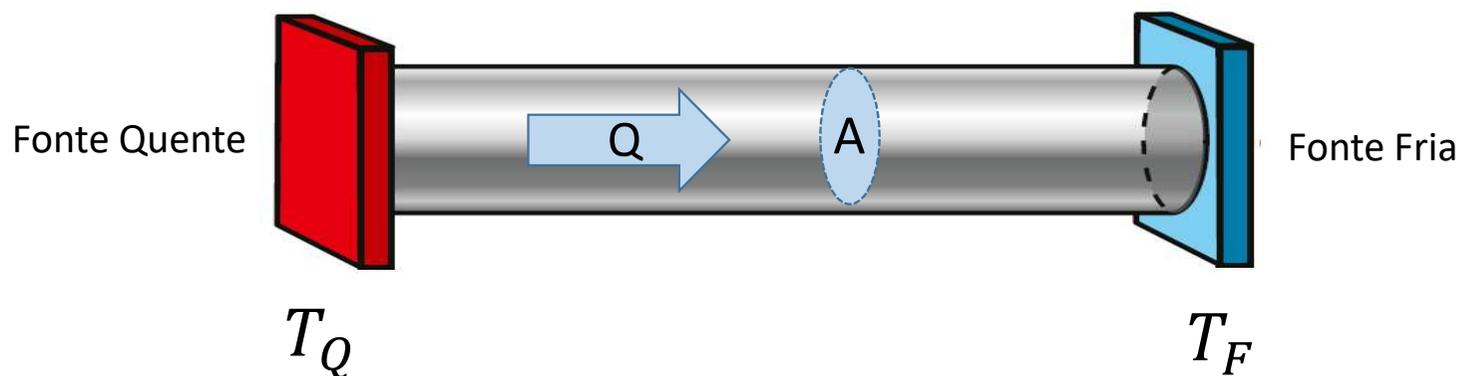
Material isolante térmico: redução da transmissão por condução.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR

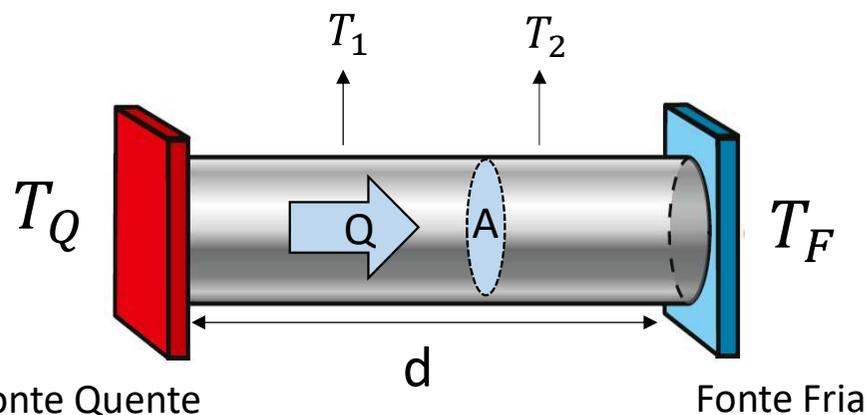
Condução, taxa de transferência de calor e lei de Fourier

Taxa de transferência de calor ou fluxo de calor (ϕ)

- Mede a quantidade de calor transferida por unidade de tempo
- Indica a rapidez com a qual o calor é transferido



$$\Phi_m = \frac{Q}{\Delta t} \quad \rightarrow \quad \left(\frac{\text{SI}}{\text{S}} \right) \quad \text{ou} \quad (\text{SI}) \quad \text{ou} \quad \left(\frac{\text{SU}}{\text{S}} \right) \quad 1\text{W} = \frac{1\text{J}}{1\text{s}}$$



Fluxo de calor

$$\Phi_m = \frac{Q}{\Delta t}$$

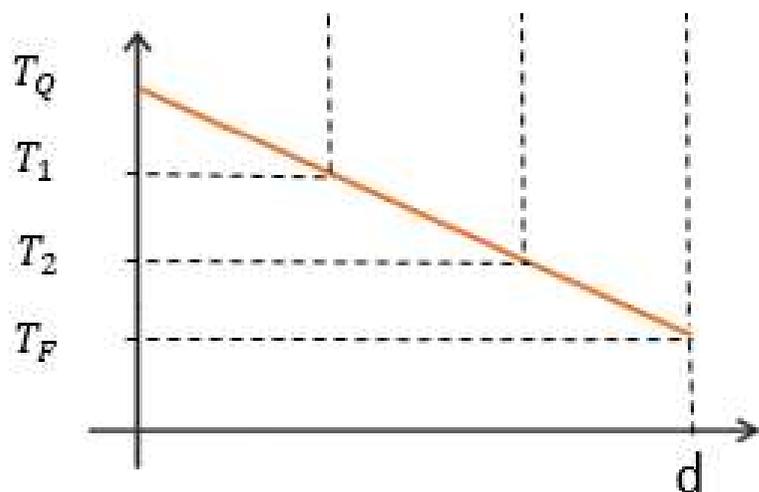
Lei de Fourier

$$\Phi_{cte} = \frac{k \cdot A \cdot (T_Q - T_F)}{d}$$

- Regime estacionário ou regime permanente (Φ_{cte})

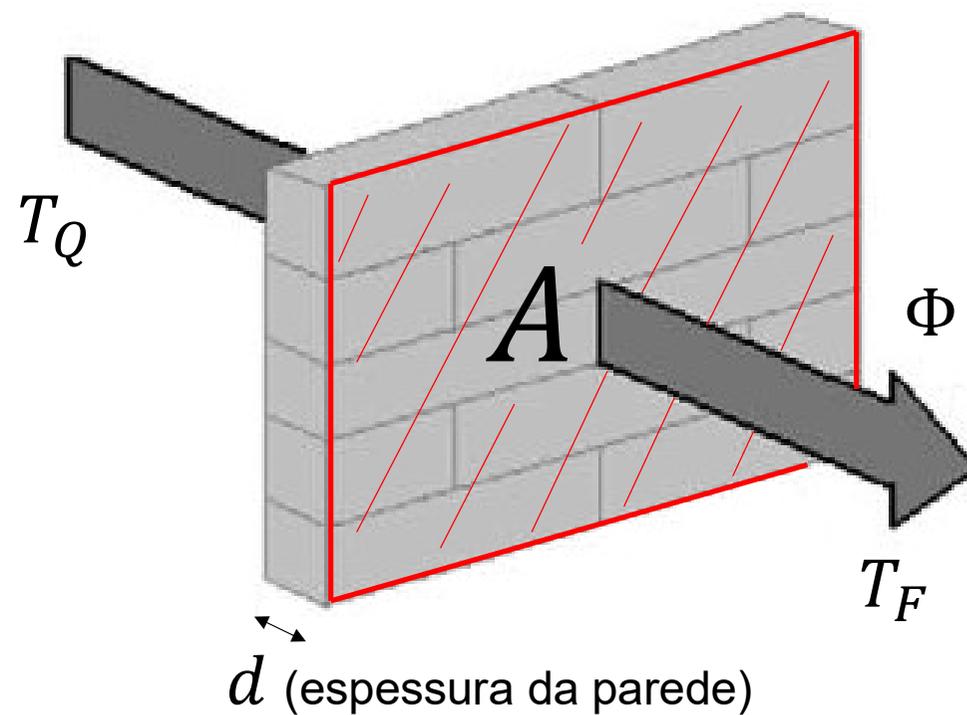
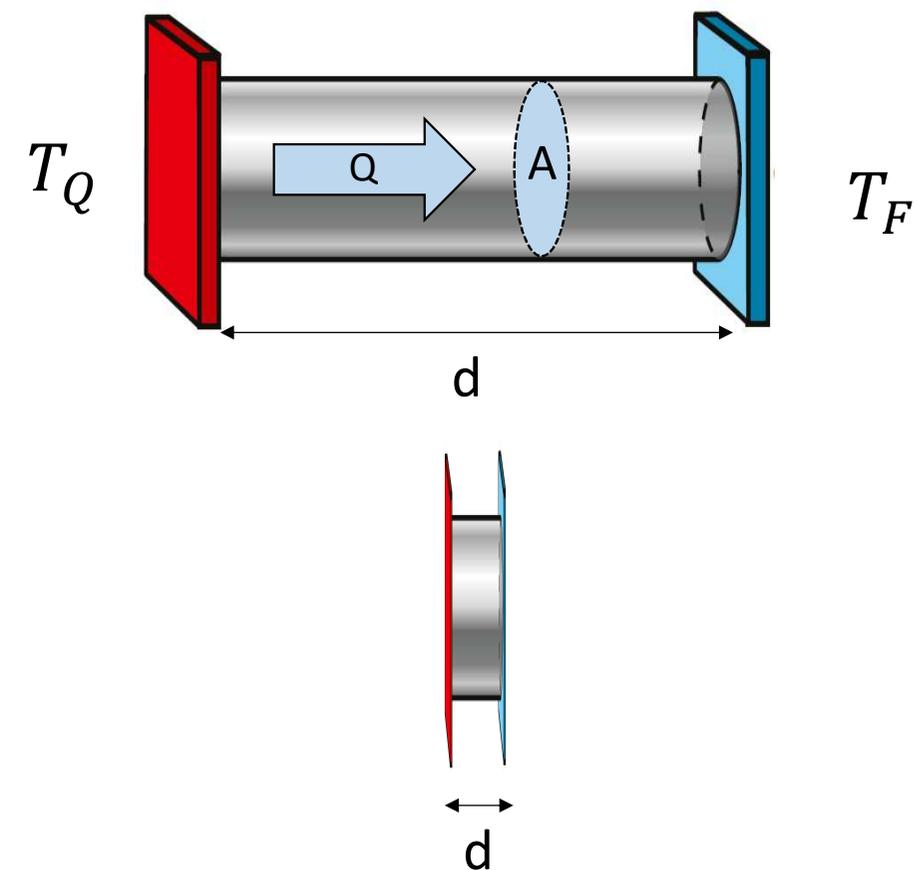
Unidades no SI

- Φ : fluxo de calor (J/s ou W).
- k : condutividade térmica (J/s.m.K).
- A : área da seção transversal (m^2).
- d : distância (m)
- $T_Q - T_F$: diferença entre temperaturas (K).
- $T_Q > T_1 > T_2 > T_F$ é a temperatura de cada ponto / região permanece constante.



Lei de Fourier aplicada a uma parede

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{k.A.(T_Q - T_F)}{d}$$



Exercícios da apostila

Hexa / Tetra 3. (UFG-GO 2013) Uma caixa de isopor em forma de paralelepípedo de dimensões $0,4 \times 0,6 \times 0,4$ m³ contém 9 kg de gelo em equilíbrio térmico com água. Esse sistema é fechado e mantido em uma sala cuja temperatura ambiente é de 30 °C. Tendo em vista que o gelo é completamente derretido após um intervalo de 10 horas, calcule:

Dados:

- 1 cal = 4,0 J
- calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

a) o fluxo de calor, em watt, que o conteúdo da caixa de isopor recebe até derreter o gelo;

b) a espessura da caixa de isopor. Utilize o coeficiente de transmissão de calor do isopor $4 \cdot 10^{-2}$ W / (m . °C).

Hexa / Tetra 3. (UFG-GO 2013) Uma caixa de isopor em forma de paralelepípedo de dimensões 0,4 x 0,6 x 0,4 m³ contém **9 kg de gelo em equilíbrio térmico com água**. Esse sistema é fechado e mantido em uma sala cuja temperatura **ambiente é de 30 °C**. Tendo em vista que o gelo é completamente derretido após um intervalo de **10 horas**, calcule:

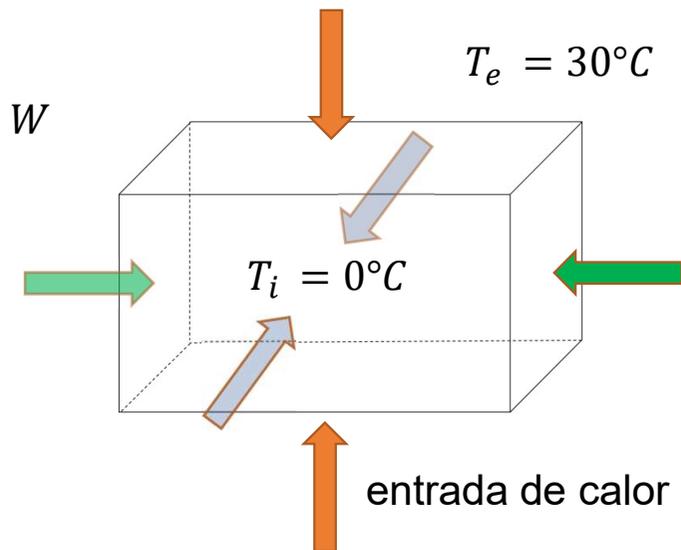
Dados:

- 1 cal = 4,0 J
- calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

a) o fluxo de calor, em watt, que o conteúdo da caixa de isopor recebe até derreter o gelo;

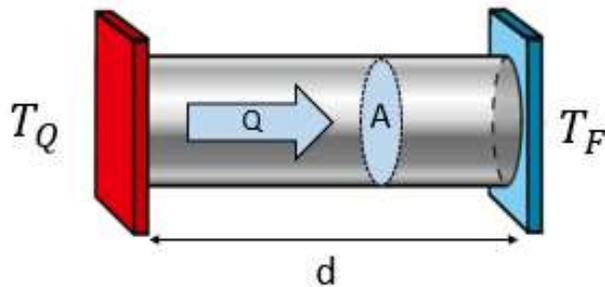
$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{m.L}{\Delta t} = \frac{9000 \cancel{\text{g}} \cdot 80 \frac{\text{cal}}{\cancel{\text{g}}}}{10 \cdot 3600 \text{ s}} = \frac{9000 \cdot 80 \text{ cal}}{10 \cdot 3600 \text{ s}} = \frac{720}{36} = 20 \frac{\text{cal}}{\text{s}} \stackrel{\times 4}{=} 80 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 80 \text{ W}$$

$$\Phi = 80 \text{ W}$$

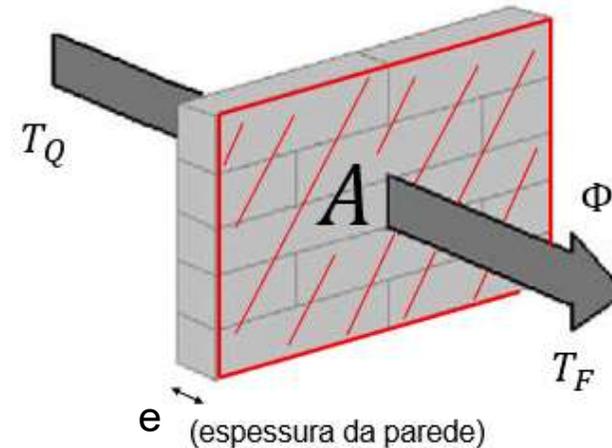


Hexa / Tetra 3. (UFG-GO 2013) Uma caixa de isopor em forma de paralelepípedo de dimensões 0,4 x 0,6 x 0,4 m³ contém 9 kg de gelo em equilíbrio térmico com água. Esse sistema é fechado e mantido em uma sala cuja temperatura ambiente é de 30 °C. Tendo em vista que o gelo é completamente derretido após um intervalo de 10 horas, calcule:

b) a espessura da caixa de isopor. Utilize o coeficiente de transmissão de calor do isopor $4 \cdot 10^{-2} \text{ W / (m} \cdot \text{°C)}$.



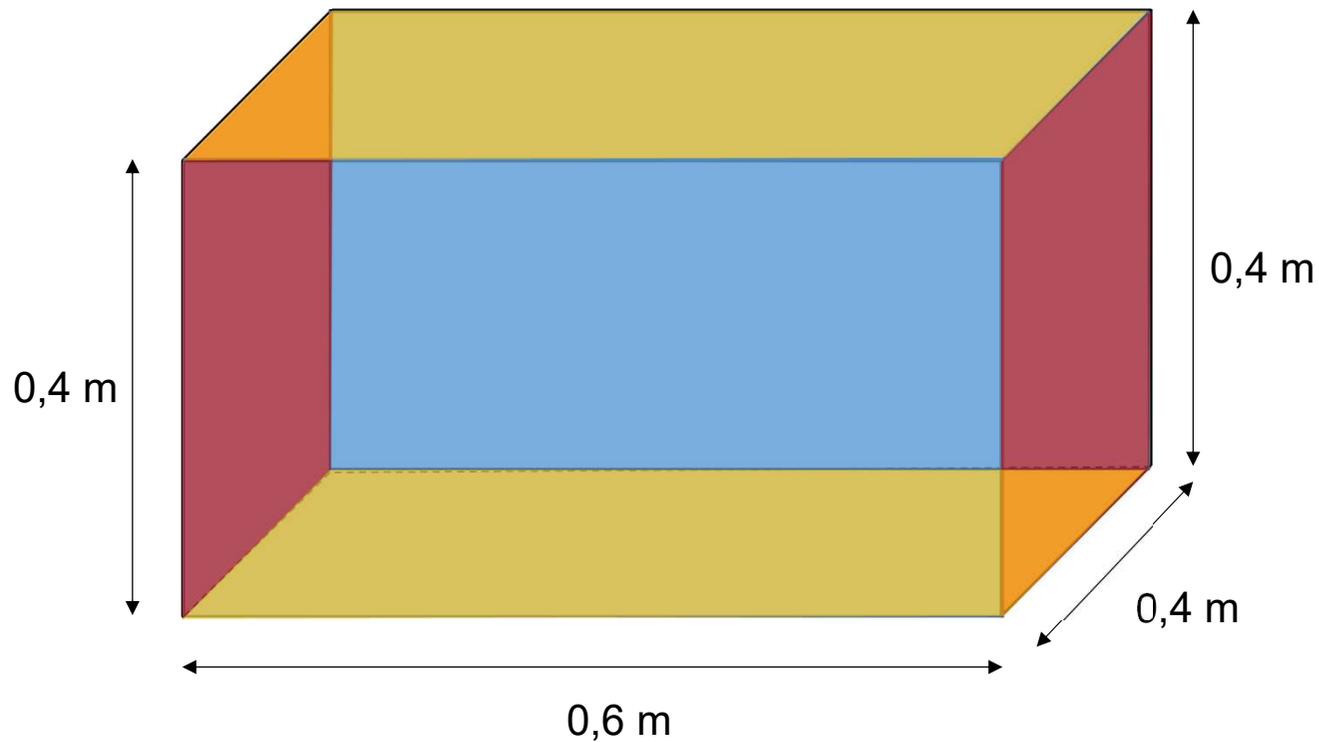
$$\Phi = \frac{k \cdot A \cdot (T_Q - T_F)}{d}$$



$$\Phi = \frac{k \cdot A \cdot (T_Q - T_F)}{e}$$

As dimensões são $0,4 \times 0,6 \times 0,4 \text{ m}^3$

Cálculo da área A da superfície interna total



$$(0,6 \times 0,4) + (0,6 \times 0,4) = 0,48 \text{ m}^2$$

$$(0,4 \times 0,4) + (0,4 \times 0,4) = 0,32 \text{ m}^2$$

$$(0,6 \times 0,4) + (0,6 \times 0,4) = 0,48 \text{ m}^2$$

+

$$A = 1,28 \text{ m}^2$$

Hexa / Tetra 3. (UFG-GO 2013) Uma caixa de isopor em forma de paralelepípedo de dimensões 0,4 x 0,6 x 0,4 m³ contém 9 kg de gelo em equilíbrio térmico com água. Esse sistema é fechado e mantido em uma sala cuja temperatura ambiente é de 30 °C. Tendo em vista que o gelo é completamente derretido após um intervalo de 10 horas, calcule:

b) a espessura da caixa de isopor. Utilize o coeficiente de transmissão de calor do isopor $4 \cdot 10^{-2} \text{ W / (m} \cdot \text{°C)}$.

$$\Phi = \frac{k \cdot A \cdot (T_Q - T_F)}{d}$$

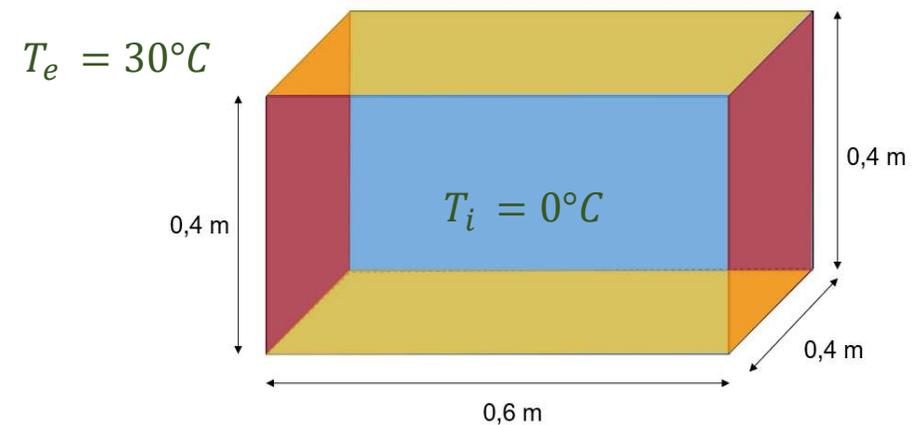
$$80 \text{ W} = 4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\cancel{\text{W}}}{\cancel{\text{m} \cdot \text{°C}}} \cdot \frac{1,28 \text{ m}^2 \cdot (30 - 0) \cancel{\text{°C}}}{e}$$

$$e = 4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1,28 \cdot 30}{80}$$

$$e = 10^{-2} \cdot \frac{1,28 \cdot 30}{20}$$

$$e = 10^{-2} \cdot 1,28 \cdot 1,5 \Rightarrow$$

$$e = 1,92 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$



$$A = 1,28 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 80 \text{ W}$$

Tetra 4. Uma barra de ferro com 0,6 m de comprimento e 12 cm² de área de seção transversal tem sua extremidade em contato com uma porção de água em ebulição, a 100 °C, e a outra extremidade em contato com gelo fundente a 0 °C.

Dado: coeficiente de condutividade térmica do ferro = 0,16 cal/cm . s . °C.

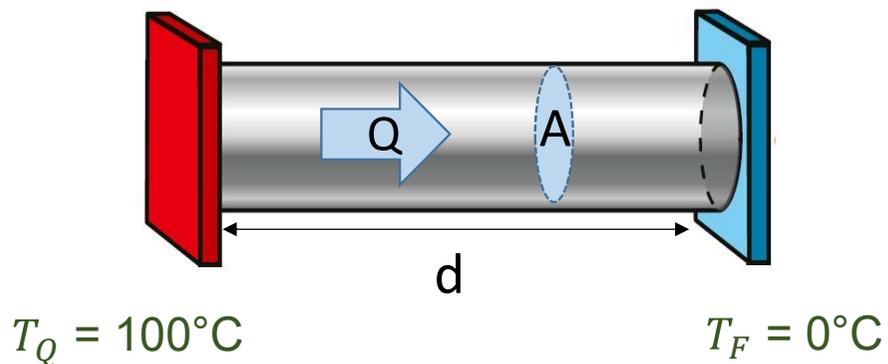
a) Determine o fluxo de calor (Φ) ao longo da barra.

b) Determine a temperatura em uma seção transversal de barra a 15 cm da extremidade quente (100 °C).

Tetra 4. Uma barra de ferro com 0,6 m de comprimento e 12 cm² de área de seção transversal tem sua extremidade em contato com uma porção de água em ebulição, a 100 °C, e a outra extremidade em contato com gelo fundente a 0 °C.

Dado: coeficiente de condutividade térmica do ferro = 0,16 cal/cm . s . °C.

a) Determine o fluxo de calor (Φ) ao longo da barra.



$$\Phi = \frac{k \cdot A \cdot (T_Q - T_F)}{d}$$

$$\Phi = \frac{0,16 \cdot \text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \frac{12 \text{ cm}^2 \cdot (100^\circ\text{C})}{60 \text{ cm}}$$

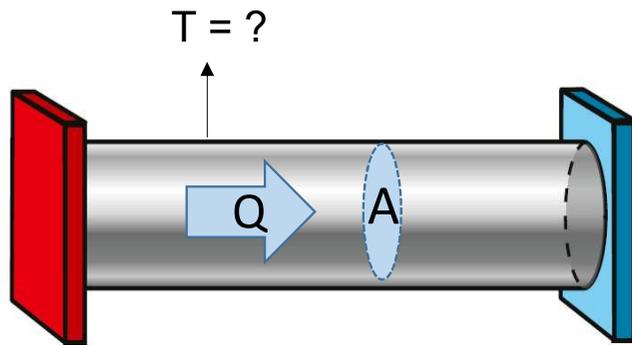
$$\Phi = \frac{16 \cdot 12}{60}$$

$$\Phi = 3,2 \frac{\text{cal}}{\text{s}}$$

4. Uma barra de ferro com 0,6 m de comprimento e 12 cm² de área de seção transversal tem sua extremidade em contato com uma porção de água em ebulição, a 100 °C, e a outra extremidade em contato com gelo fundente a 0 °C.

Dado: coeficiente de condutividade térmica do ferro = 0,16 cal/cm . s . °C.

b) Determine a temperatura em uma seção transversal de barra a 15 cm da extremidade quente (100 °C).



$$T_Q = 100^\circ\text{C}$$



$$d' = 15 \text{ cm}$$

$$\text{Item a: } \Phi = 3,2 \frac{\text{cal}}{\text{s}}$$

$$\Phi = \frac{k \cdot A \cdot (T_Q - T_F)}{d}$$

$$3,2 = \frac{0,16 \cdot 12 \cdot (100 - T)}{15}$$

$$\frac{3,2 \cdot 15}{0,16 \cdot 12} = (100 - T)$$

$$\frac{20 \cdot 15}{12} = (100 - T)$$

$$\frac{30}{12} = (100 - T)$$

$$25 = (100 - T)$$

$$T = 100 - 25$$

$$T = 75^\circ\text{C}$$

Resolução do item b com regra de três

$$\Phi = \frac{k.A.(T_Q - T_F)}{d} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Phi \cdot d}{k.A} = (T_Q - T_F) \quad \Rightarrow \quad \frac{\Phi \cdot d \uparrow}{\underset{\text{cte}}{k.A}} = (T_Q - T_F) \uparrow$$

b) a temperatura numa seção transversal da barra, situada a 15 cm da extremidade mais quente.

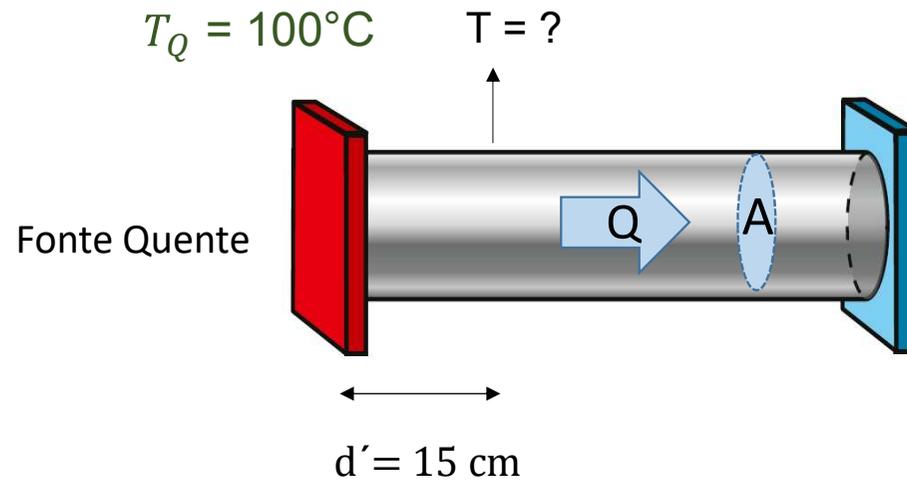
60 cm ----- diminuição de 100°C

15 cm ----- diminuição ?

diminuição = 25°C

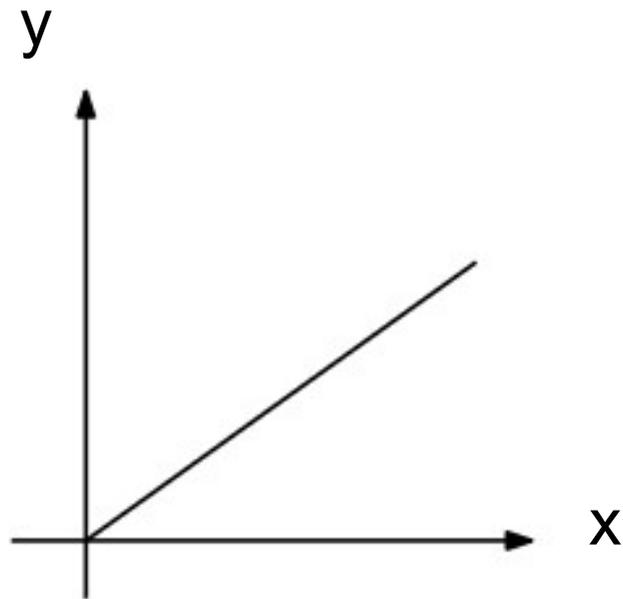
$T = 100 - 25$

$T = 75^\circ\text{C}$

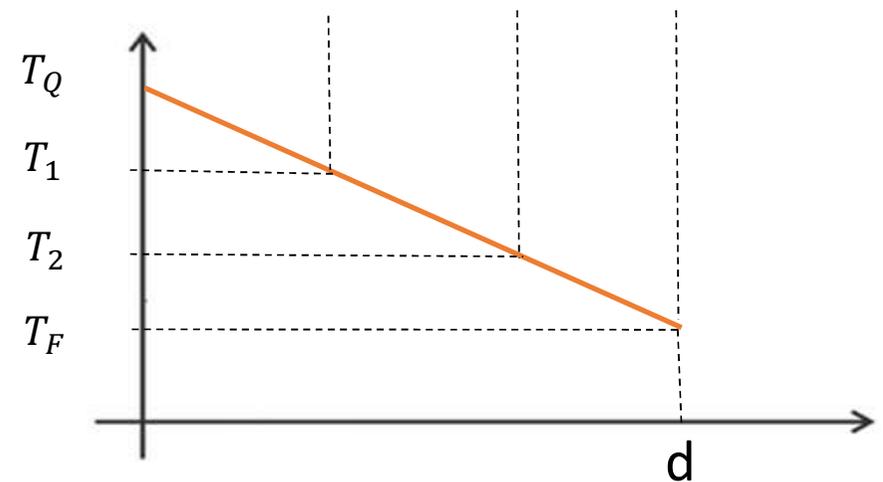
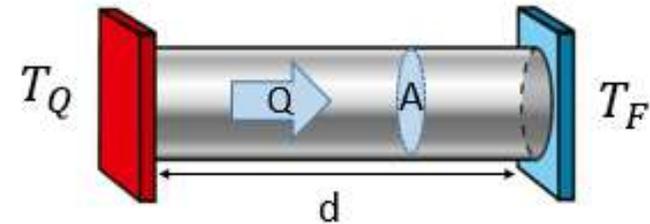


Revisão: grandezas diretamente proporcionais

- Neste caso, y e x são diretamente proporcionais
- Pode fazer regra de três



- d e T não são diretamente proporcionais
- **Não pode fazer** regra de três



Exercícios do Caio (folhinha)

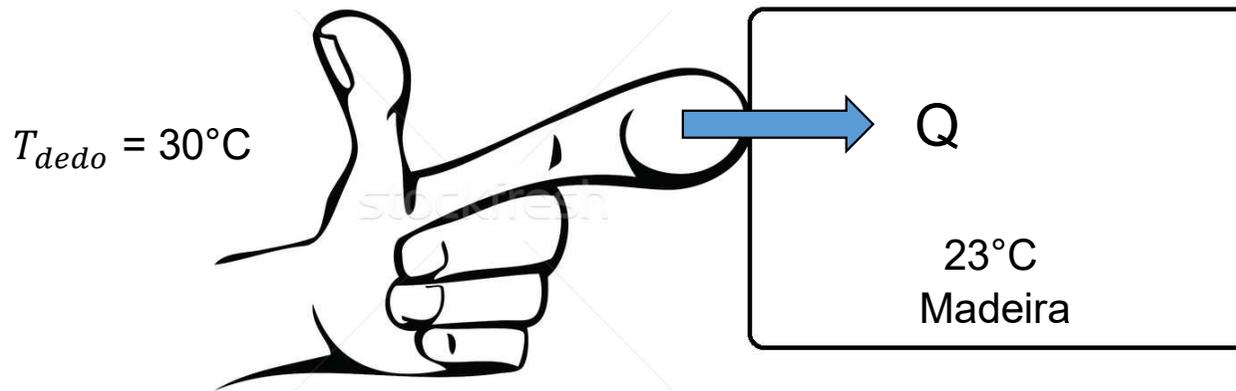


1. (Enem) É muito comum encostarmos a mão na maçaneta de uma porta e temos a sensação de que ela está mais fria que o ambiente. Um fato semelhante pode ser observado se colocarmos uma faca metálica com cabo de madeira dentro de um refrigerador. Após longo tempo, ao encostarmos uma das mãos na parte metálica e a outra na parte de madeira, sentimos a parte metálica mais fria.

Fisicamente, a sensação térmica mencionada é explicada da seguinte forma:

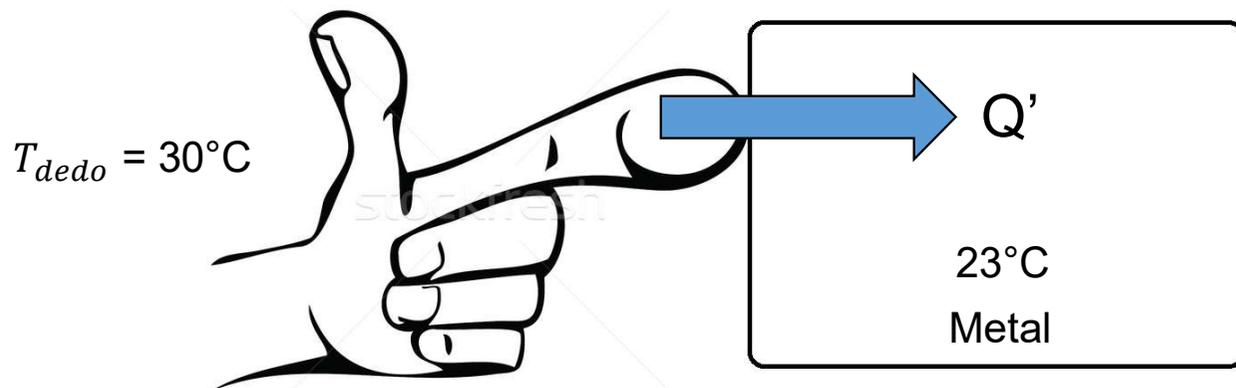
- a) A madeira é um bom fornecedor de calor e o metal, um bom absorvedor.
- b) O metal absorve mais temperatura que a madeira.
- c) O fluxo de calor é maior no metal que na madeira.
- d) A madeira retém mais calor que o metal.
- e) O metal retém mais frio que a madeira.

- Perda de calor → sensação de frio / maior fluxo → maior sensação de frio
- Metais são os melhores condutores de calor



$$fluxo_1 = \frac{Q}{\Delta t} \left(\frac{cal}{s} \right)$$

$$fluxo_2 > fluxo_1$$



$$fluxo_2 = \frac{Q'}{\Delta t} \left(\frac{cal}{s} \right)$$

1. (Enem) É muito comum encostarmos a mão na maçaneta de uma porta e temos a sensação de que ela está mais fria que o ambiente. Um fato semelhante pode ser observado se colocarmos uma faca metálica com cabo de madeira dentro de um refrigerador. Após longo tempo, ao encostarmos uma das mãos na parte metálica e a outra na parte de madeira, sentimos a parte metálica mais fria.

Fisicamente, a sensação térmica mencionada é explicada da seguinte forma:

- a) A madeira é um bom fornecedor de calor e o metal, um bom absorvedor.
- b) O metal absorve mais temperatura que a madeira.
- c) O fluxo de calor é maior no metal que na madeira. ←
- d) A madeira retém mais calor que o metal.
- e) O metal retém mais frio que a madeira.

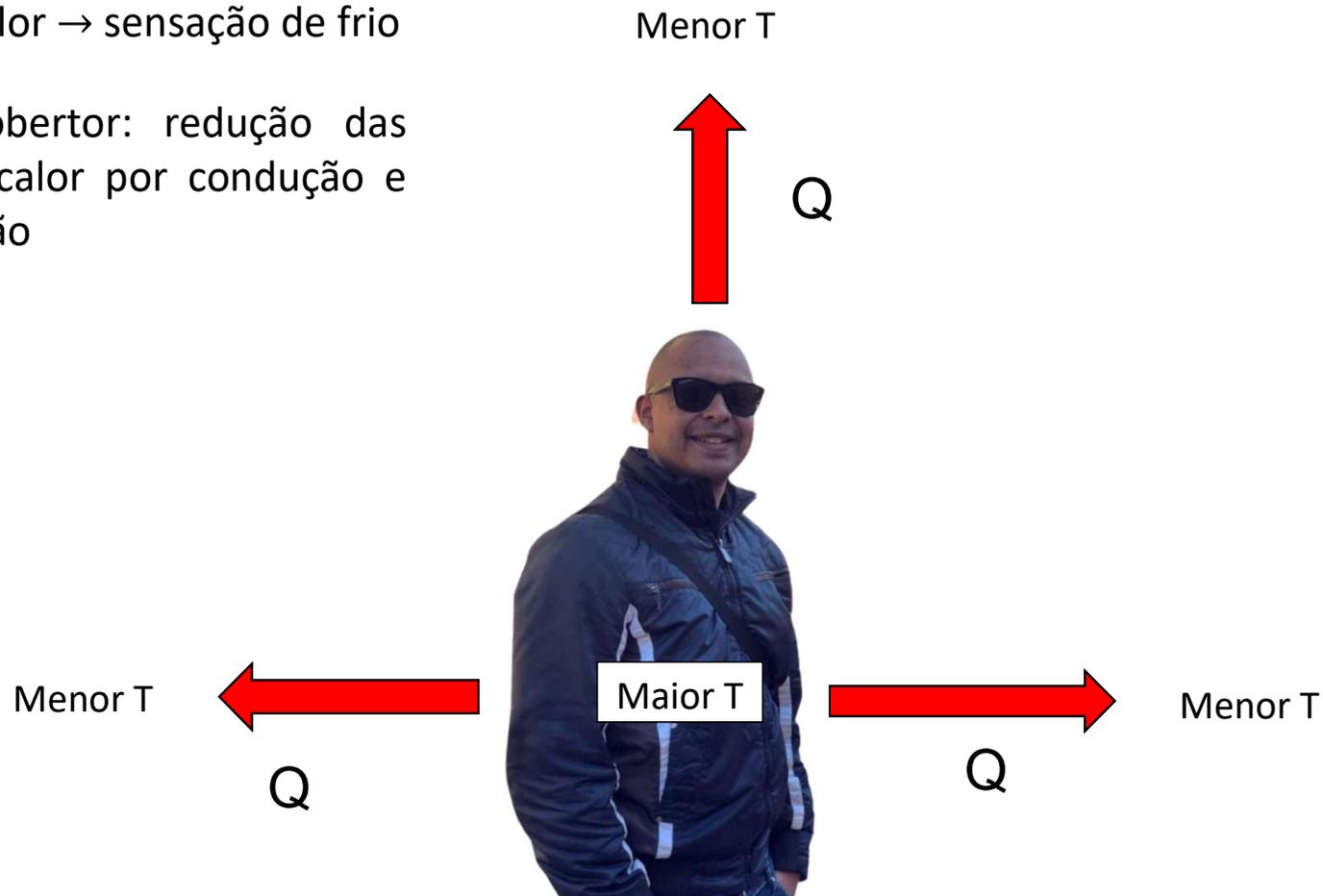
2. (Enem) Em dias com baixas temperaturas, as pessoas utilizam casacos ou blusas de lã com o intuito de minimizar a sensação de frio. Fisicamente, esta sensação ocorre pelo fato de o corpo humano liberar calor, que é a energia transferida de um corpo para outro em virtude da diferença de temperatura entre eles.

A utilização de vestimenta de lã diminui a sensação de frio, porque

- a) possui a propriedade de gerar calor.
- b) é constituída de material denso, o que não permite a entrada do ar frio.
- c) diminui a taxa de transferência de calor do corpo humano para o meio externo.
- d) tem como principal característica a absorção de calor, facilitando o equilíbrio térmico.
- e) está em contato direto com o corpo humano, facilitando a transferência de calor por condução.

A utilização de blusa / vestimenta de lã diminui a sensação de frio, porque ?

- Perda de calor → sensação de frio
- Blusa / cobertor: redução das perdas de calor por condução e da convecção



Cobertor aluminizado – redução das perdas de calor por irradiação



2. (Enem) Em dias com baixas temperaturas, as pessoas utilizam casacos ou blusas de lã com o intuito de minimizar a sensação de frio. Fisicamente, esta sensação ocorre pelo fato de o corpo humano liberar calor, que é a energia transferida de um corpo para outro em virtude da diferença de temperatura entre eles.

A utilização de vestimenta de lã diminui a sensação de frio, porque

- a) possui a propriedade de gerar calor.
- b) é constituída de material denso, o que não permite a entrada do ar frio.
- c) diminui a taxa de transferência de calor do corpo humano para o meio externo. 
- d) tem como principal característica a absorção de calor, facilitando o equilíbrio térmico.
- e) está em contato direto com o corpo humano, facilitando a transferência de calor por condução.

Menor T (exterior)



Maior T (interior)