

Retrospectiva

- Matemática básica, gráficos e grandezas escalares e vetoriais
- Massa e Peso
- Força
- Mecânica: Cinemática escalar → posição e tempo →
velocidade, aceleração, deslocamento etc } gráfico
- Trabalho de uma força → $W = F \cdot d \cdot \cos \theta$ → gráfico
- Energia → Potencial e Cinética → **Lei de Conservação da Energia**
- Potência → $P = \frac{E}{\Delta t}$
- Termologia → E.F.M. → Pressão → Densidade
- Temperatura (grau de agitação) → Calor (energia em trânsito)
- Equilíbrio Térmico → Lei Zero da Termodinâmica
- Termômetros → Escalas Termométricas ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$, K)

Estados físicos da matéria e mudanças de fase

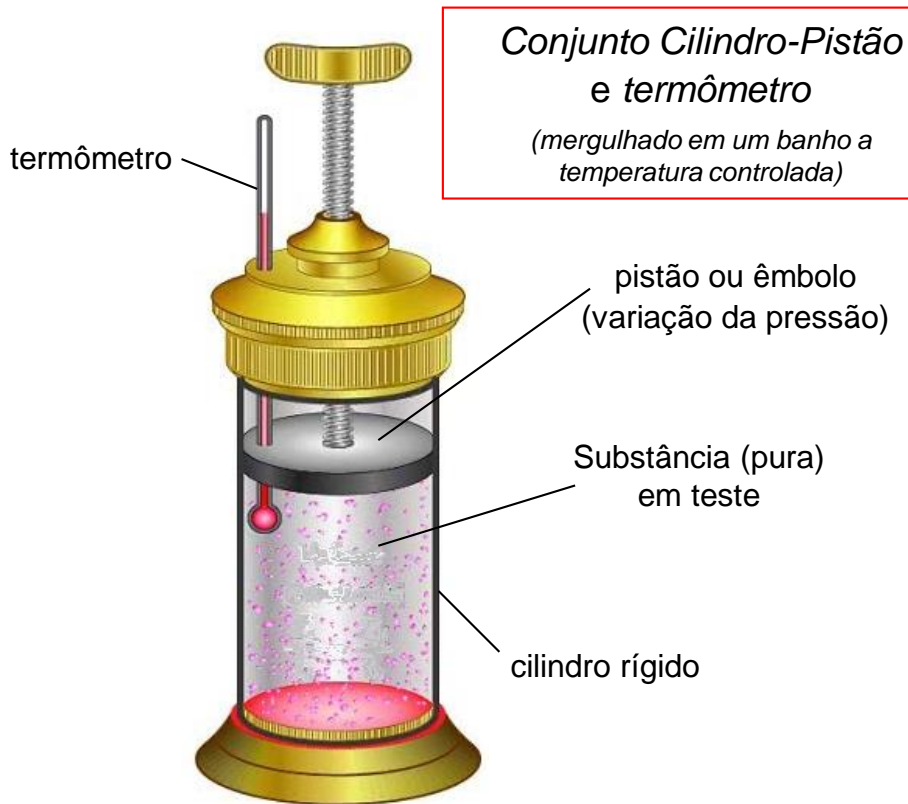
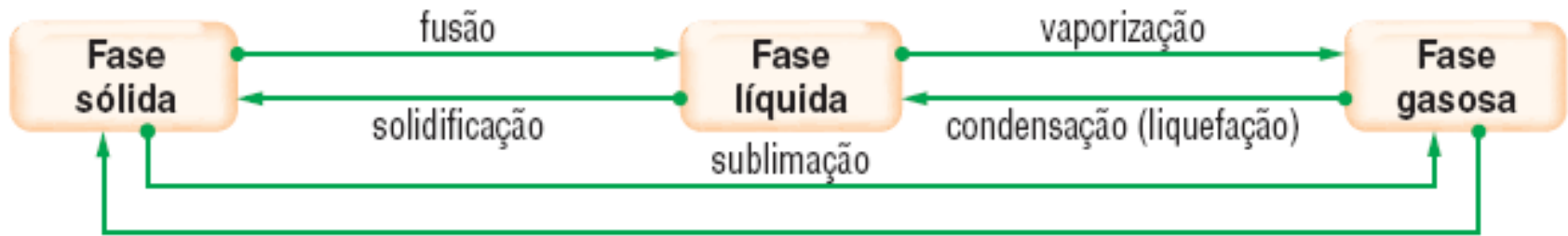


Diagrama de Fases

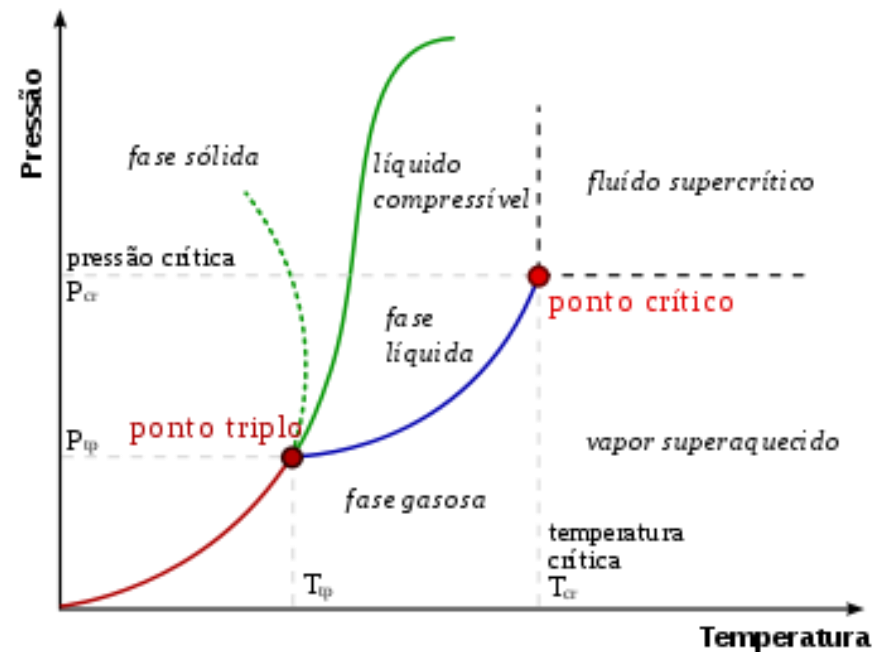
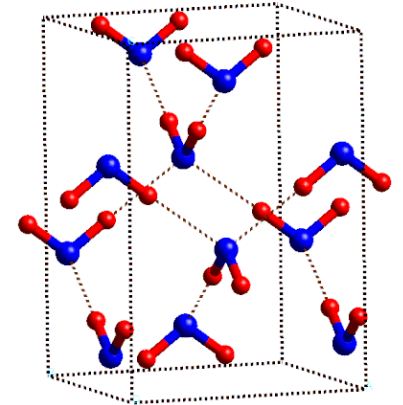
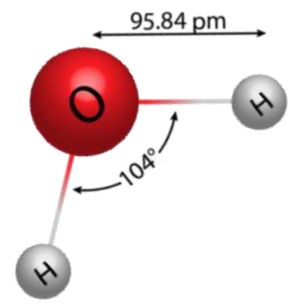
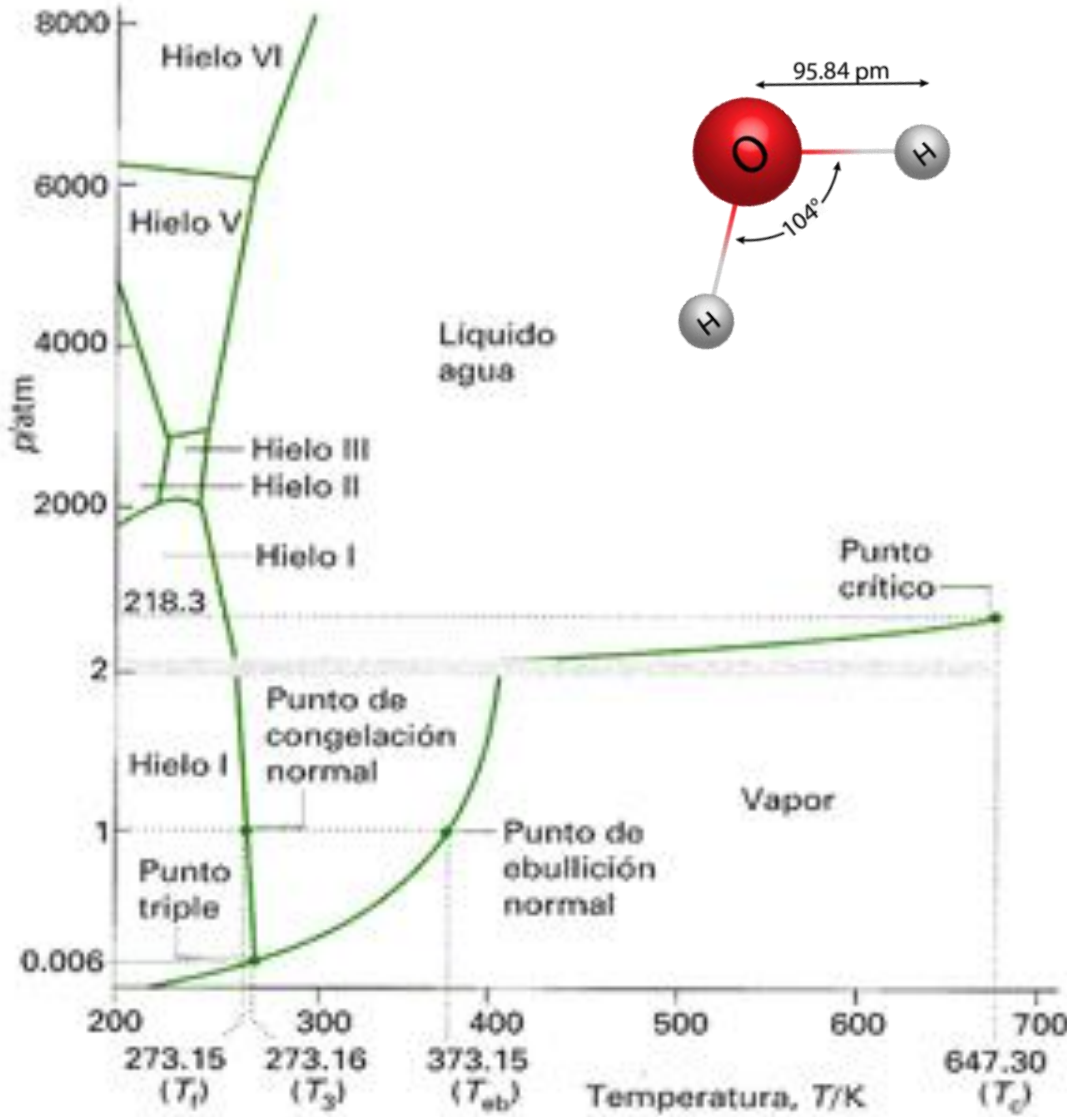


Diagrama de Fases

Água (H_2O)



Gelo VIII
< 278 K (5 °C) e > 2,1 GPa (21k atm)

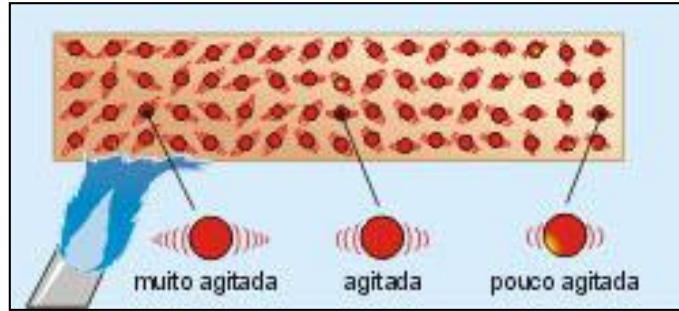


Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Campus São Paulo

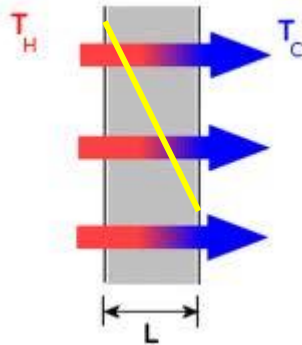
- ***Processos de Transferência de Energia Térmica (Calor)***

• Condução Térmica (meios materiais)

• Sólidos

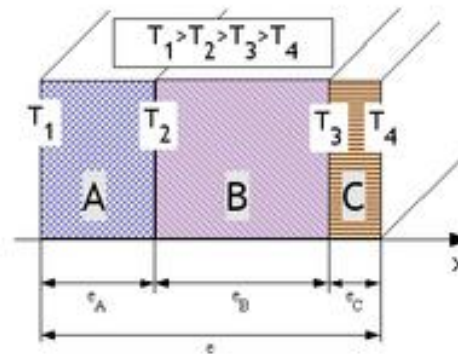


• Líquidos



• Gases e vapores

“Sanduíche” de isolantes térmicos



Material	Condutividade térmica W/m·K
Cimento portland	0,29
Concreto, pedra	1,7
Ar	0,025
Madeira	0,04 - 0,4
Alcoóis, óleos	0,1 - 0,21
Solo	1,5
Borracha	0,16
Epóxi	0,19
Graxa térmica	0,7 - 3
Vidro	1,1
Gelo	2
Arenito	2,4
Aço inoxidável	12,11 - 45,0
Chumbo	35,3
Alumínio	237
Ouro	318
Prata	429
Diamante	900 - 2 320
GLP	0,23 - 0,26
Água	0,61

$$\dot{Q}_{cond} = k \times A \times \left(\frac{\Delta T}{L} \right)$$

Equação de Fourier

[**W**]

- k** → coeficiente de condutividade térmica
- A** → área
- $\Delta T = T_H - T_C$** → diferença de temperatura
- L (e)** → espessura

Aplicação na Engenharia Civil

Tabela 3 – Valores de Condutividade térmica (K) para diferentes materiais de cobertura.

Material	K (W/m.°C)
Alumínio	230
Aço	47
Concreto	1,74
Tijolo maciço	0,81
Fibrocimento	0,76
Água	0,64
Palha	0,12
Lã de vidro	0,036
Poliestireno expandido	0,035
Espuma de poliuretano	0,023
Ar	0,023

Fonte: Kreith & Kreider , 1978; Rivero, 1986; Baêta & Souza, 1997 (adaptados).



Desafios

Qual das massas de parafina (energia de fusão = **150,7 J/g**) vai derreter e pingar primeiro?

1º caso) Arames com (k)'s diferentes, porém com mesma área transversal (A) e mesmo comprimento (L), submetidos à mesma diferença de temperatura (ΔT) no mesmo intervalo de tempo (Δt).

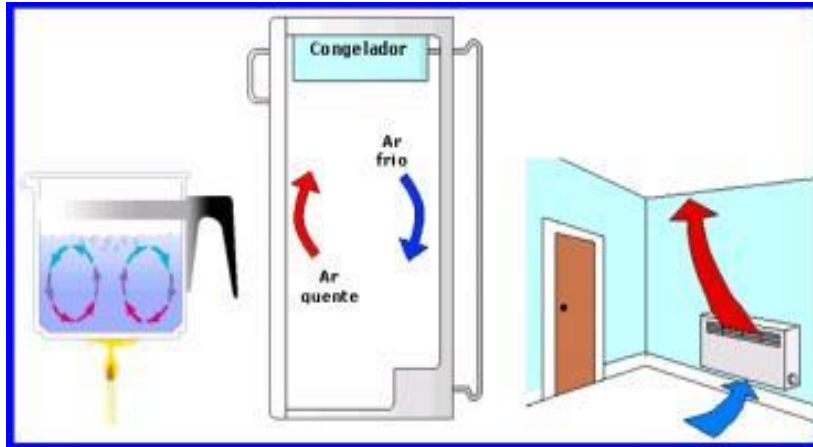
$$\dot{Q}_{cond} = k \times A \times \left(\frac{\Delta T}{L} \right) \longrightarrow \frac{E_{t\acute{e}rm}}{\Delta t} = k \times A \times \left(\frac{\Delta T}{L} \right) \longrightarrow \boxed{E_{t\acute{e}rm} = a \times k}$$

$$k_{Fe} = \mathbf{79,5} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \quad k_{Al} = \mathbf{204} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \quad k_{Lat\tilde{a}o} \text{ (70\% Cu - 30\% Zn)} = \mathbf{109} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

2º caso) Arames de mesmo material (k), porém com áreas transversais (A) diferentes, mesmo comprimento (L), submetidos à mesma diferença de temperatura (ΔT) no mesmo intervalo de tempo (Δt).

$$\dot{Q}_{cond} = k \times A \times \left(\frac{\Delta T}{L} \right) \longrightarrow \frac{E_{t\acute{e}rm}}{\Delta t} = k \times A \times \left(\frac{\Delta T}{L} \right) \longrightarrow \boxed{E_{t\acute{e}rm} = b \times A}$$

• Convecção Térmica (meios *materiais* - líquidos, gases e vapores)



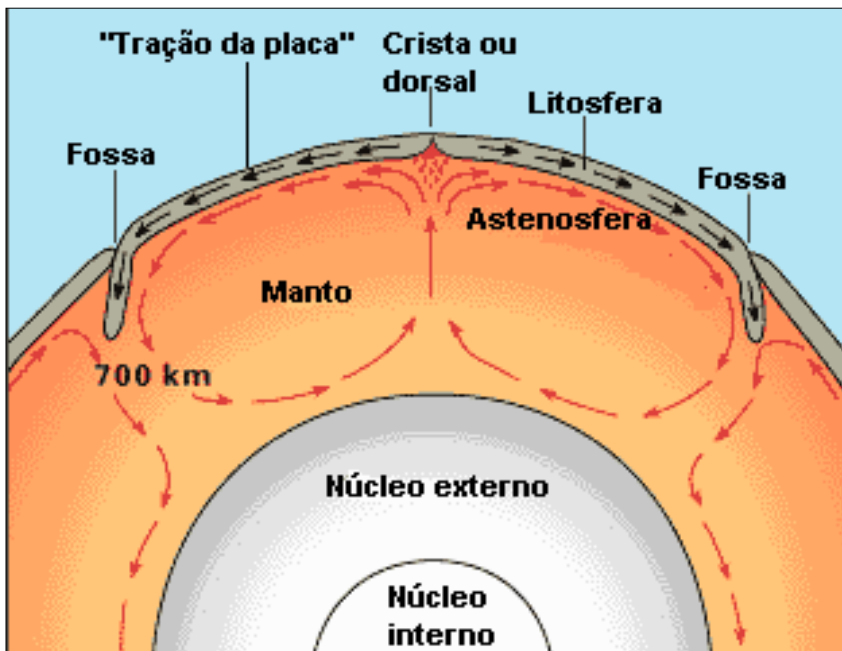
$$\dot{Q}_{conv} = h \times A \times (T_f - T_s) \quad [W]$$

Equação de Newton

h → coeficiente de convecção térmica
(umidade e velocidade do fluido)

T_f → temperatura do fluido ao longe

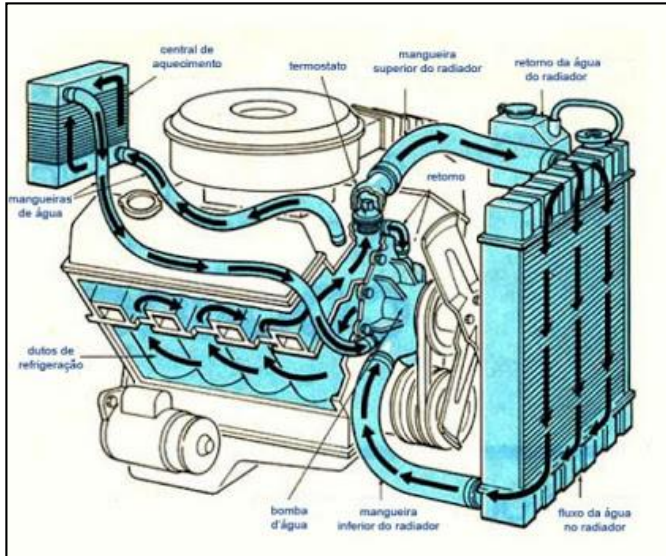
T_s → temperatura da superfície



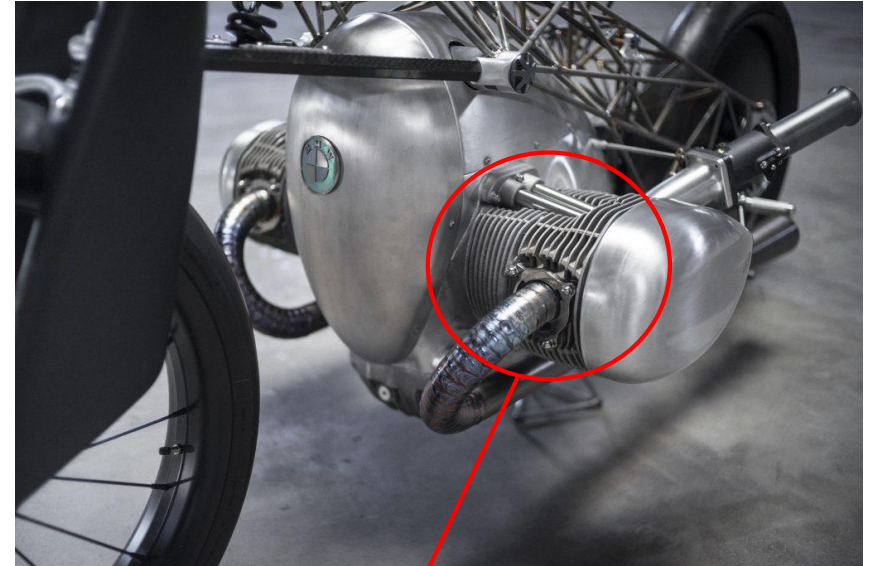
PROCESSO		h [W / m ² .K]
CONVECÇÃO NATURAL	Ar	5 - 30
	Gases	4 - 25
	Líquidos	120 - 1.200
	Água, líquida	20 - 100
	Água em ebulição	120 - 24.000
CONVECÇÃO FORÇADA	Ar	30 - 300
	Gases	12 - 120
	Líquidos	60 - 25.000
	Água, líquida	50 - 10.000
	Água em ebulição	3.000 - 100.000
	Água em condensação	5.000 - 100.000

Aplicações e fenômenos

- Sistema de arrefecimento de motor de automóvel



- Sistema de arrefecimento de motor de motocicleta



- Secagem de roupas



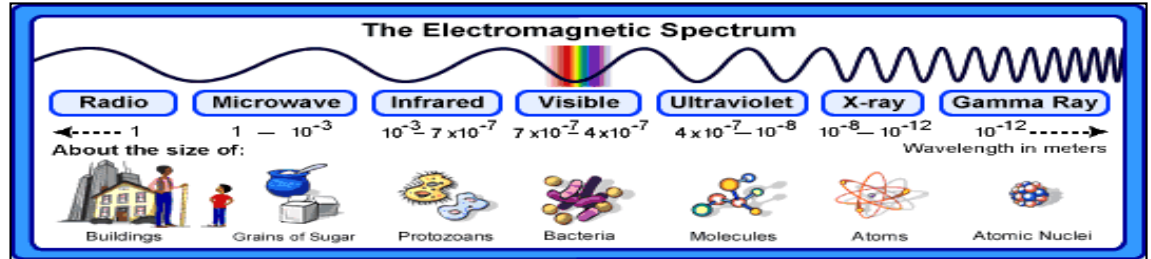
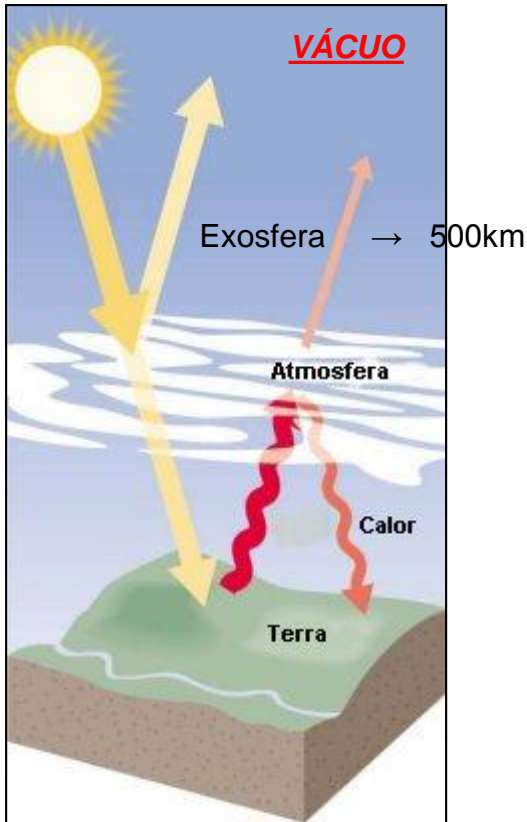
aletas



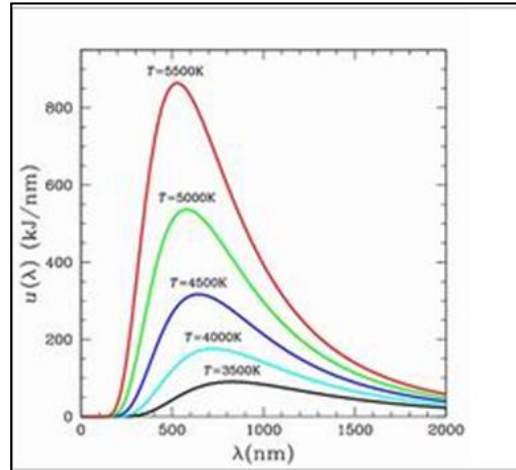
- Sistema de arrefecimento de processador

Irradiação Térmica (matéria ou vácuo)

$$d_{\text{Terra/Sol}} \approx 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$$



Emissão de energia por um corpo ideal (“negro”)



Material (300K)	Emissividade
Vegetação, solo, água, pele	0,92 – 0,96
Asfalto	0,85 – 0,93
Aço inox polido	0,17
Ouro, prata ou cobre polidos	0,018 – 0,035

$$\dot{Q} = e \times \sigma \times A \times T^4$$

Lei de Stefan - Boltzmann

[W]

e → emissividade da superfície do corpo

σ → constante de Stefan-Boltzmann
→ $5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

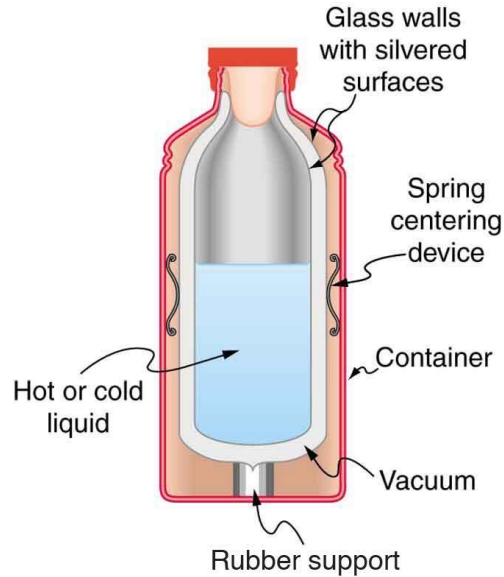
A → área superficial de emissão

T → Temperatura absoluta da superfície

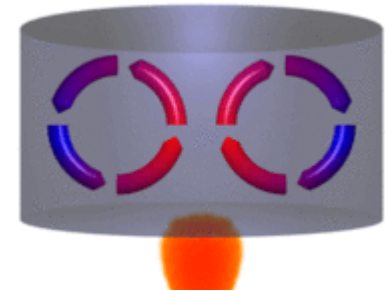
Aplicações e fenômenos



Garrafa Térmica



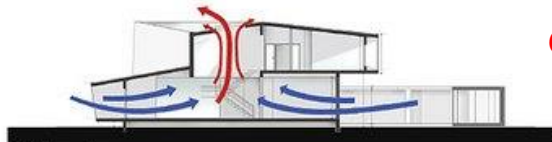
Aquecimento de água



estudos de orientação solar - face norte (12 h)

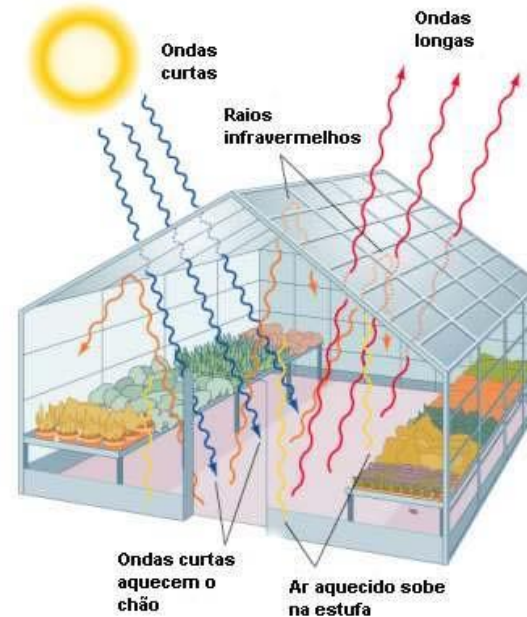


estudos de orientação solar - faces oeste e leste



estudo dos ventos

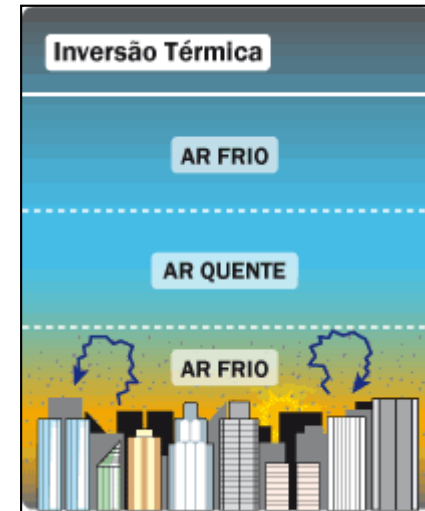
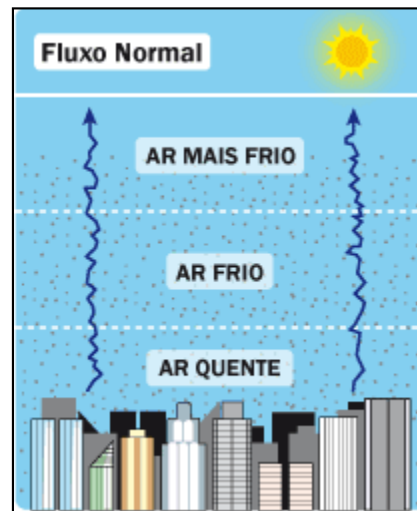
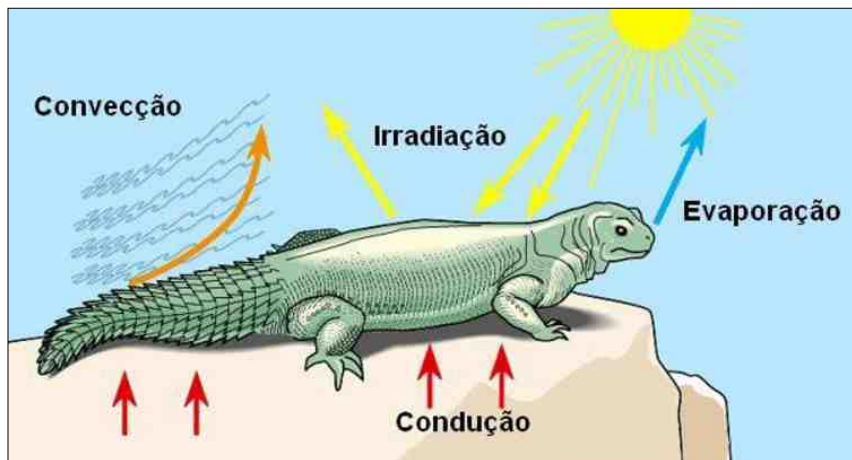
Circulação de ar



Efeito Estufa

Aplicações e fenômenos

Termorregulação em Seres Vivos



Furacão Ivan (09/2004)



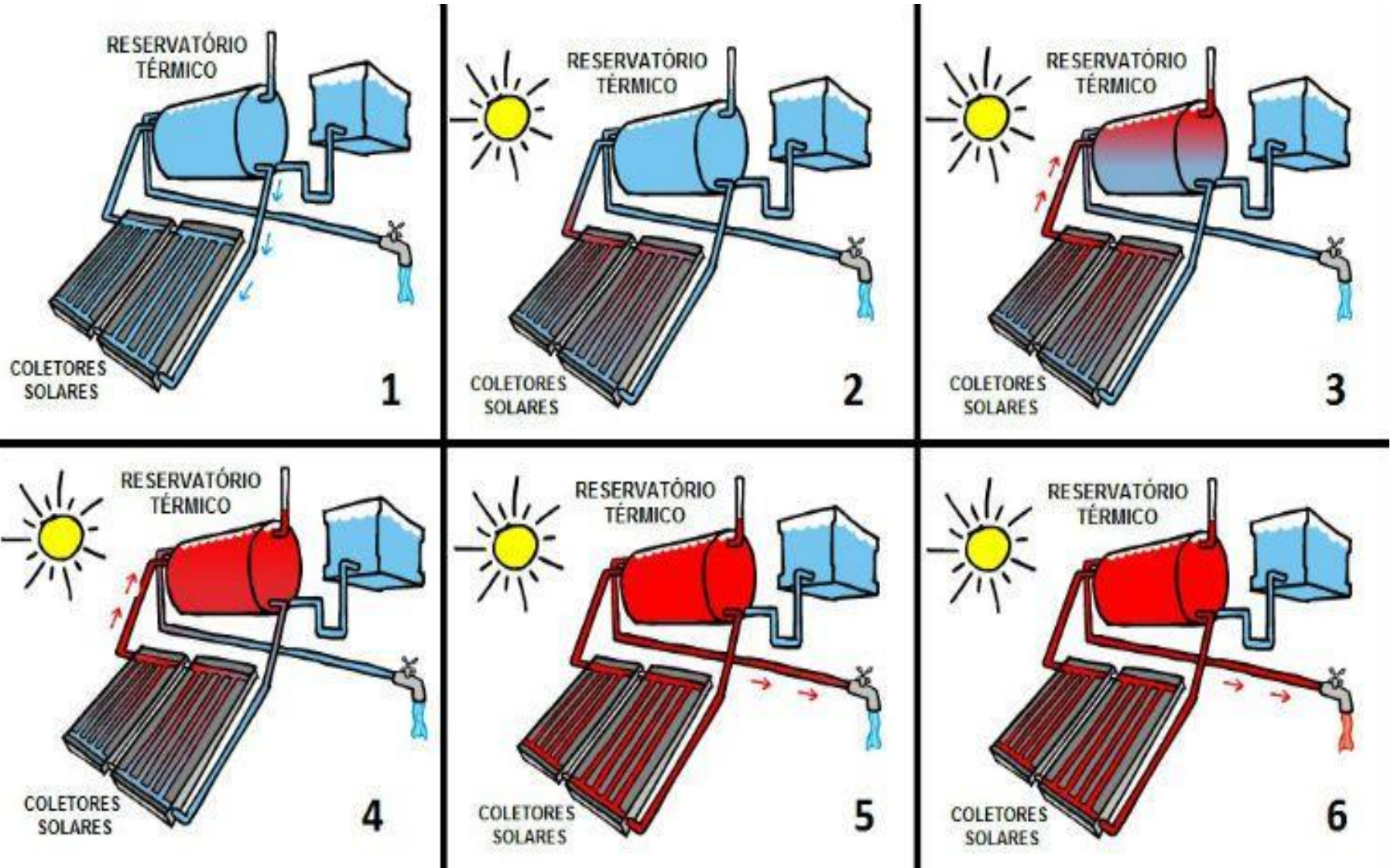
<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inoid=707&sid=9>

Inversão Térmica



Aplicações e fenômenos

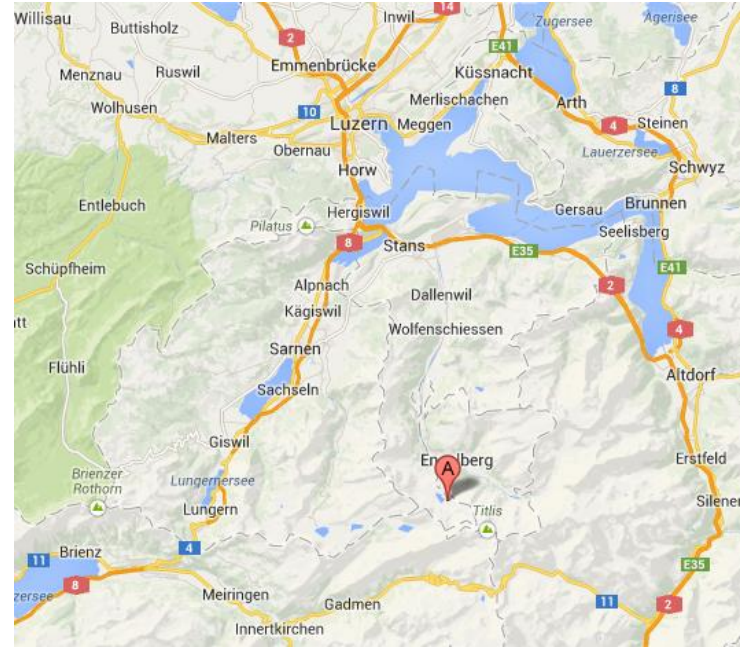
Sistema de aquecimento natural por efeito *termossifão*



Aplicações e fenômenos



*Engelberg Igloo Hotel
Suíça*



Flamingo



Exercícios de aplicação

- 1) (FMABC - SP) Atualmente, os diversos meios de comunicação vêm alertando a população para o perigo que a Terra começou a enfrentar já há algum tempo: o chamado "efeito estufa!". Tal efeito é devido ao excesso de gás carbônico, presente na atmosfera, provocado pelos poluentes dos quais o homem é responsável direto. O aumento de temperatura provocado pelo fenômeno deve-se ao fato de que:
- a) a atmosfera é transparente à energia radiante e opaca para as ondas de calor;
 - b) a atmosfera é opaca à energia radiante e transparente para as ondas de calor;
 - c) a atmosfera é transparente tanto para a energia radiante como para as ondas de calor;
 - d) a atmosfera é opaca tanto para a energia radiante como para as ondas de calor;
 - e) a atmosfera funciona como um meio refletor para a energia radiante e como meio absorvente para as ondas de calor.
- 2) (MACKENZIE) Uma parede de tijolos e uma janela de vidro de espessura 180mm e 2,5mm, respectivamente, têm suas faces sujeitas à mesma diferença de temperatura. Sendo as condutibilidades térmicas do tijolo e do vidro iguais a 0,12 e 1,00 unidades SI, respectivamente, então a razão entre o fluxo de calor conduzido por unidade de superfície pelo vidro e pelo tijolo é:
- a) 200 b) 300 c) 500 d) 600 e) 800
- 3) (UNIFENAS) A transmissão de calor por **convecção** só é possível:
- a) no vácuo b) nos sólidos c) nos líquidos d) nos gases e) nos fluidos em geral.

- 4) Uma taxa de calor de 3kW é conduzida através de um material isolante com área de seção reta de 10m^2 e espessura de $2,5\text{cm}$. Se a temperatura da superfície interna (quente) é de 415°C e a condutividade térmica do material é de $0,2\text{ W/m.K}$, qual a temperatura da superfície externa?
- 5) O fluxo de calor através de uma placa de madeira com 50mm de espessura, cujas temperaturas das superfícies interna e externa são de 40 e 20°C , respectivamente, foi determinado e é igual a 40W/m^2 . Qual a condutividade térmica da madeira?
- 6) As temperaturas das superfícies interna e externa de uma janela de vidro, com espessura de 5mm , são de 15 e 5°C , respectivamente. Qual é a perda de calor através de uma janela com dimensões de 1m de largura por 3m de altura? A condutividade térmica do vidro é igual a $1,4\text{W/m.K}$.
- 7) A câmara de um freezer é um espaço cúbico com 2m de lado. Considere o fundo como sendo perfeitamente isolado. Qual a espessura mínima de um isolamento a base de espuma de poliestireno ($k = 0,030\text{W/m.K}$) que deve ser aplicado nas paredes do topo e dos lados para garantir que a carga (potência) térmica que entra no freezer seja inferior a 500W , quando a suas superfícies interna e externa se encontram a -10 e 35°C , respectivamente.
- 8) Qual a espessura necessária para uma parede de alvenaria com condutividade térmica de $0,75\text{W/m.K}$ se a taxa de transferência de calor através dessa parede deve ser equivalente a 80% da taxa de transferência através de uma parede estrutural com condutividade térmica de $0,25\text{W/m.K}$ e espessura de 100mm ? As superfícies de ambas as paredes estão sujeitas à mesma diferença de temperatura.

- Resolução do exercício 4:

$$\dot{Q}_{cond} = 3kW$$

$$A = 10m^2$$

$$L = 2,5cm$$

$$T_H = 415^\circ C \rightarrow T(K) = t(^{\circ}C) + 273 = 688K$$

$$k = 0,2 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$\dot{Q}_{cond} = k \times A \times \left(\frac{\Delta T}{L} \right)$$

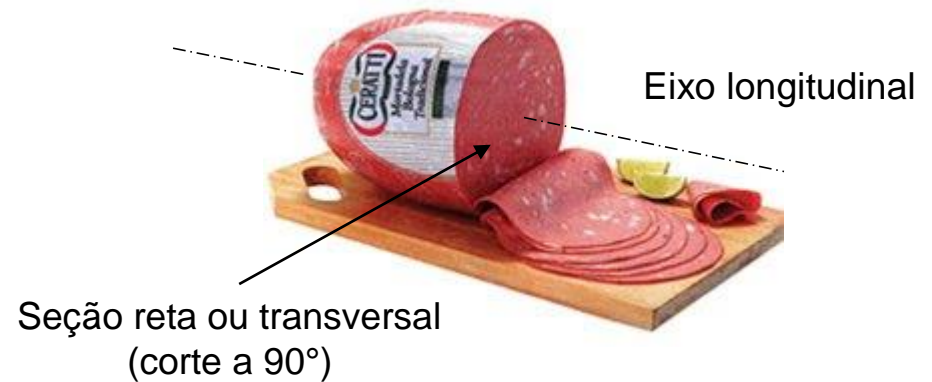
$$3 \cdot 10^3 W = 0,2 \frac{W}{m \cdot K} \cdot 10 m^2 \cdot \frac{\Delta T}{2,5 \cdot 10^{-2} m}$$

$$\Delta T = \frac{3 \cdot 10^3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}}{0,2 \cdot 10} \rightarrow$$

$$\Delta T = 37,5K \rightarrow T_H - T_C = 37,5K \rightarrow$$

$$T_C = T_H - 37,5K \rightarrow T_C = 650,5K$$

$$t_c = 377,5^\circ C$$



- 9) Um circuito integrado (chip) quadrado de silício ($k = 150\text{W/m.K}$) possui $\ell = 5\text{mm}$ de lado e uma espessura $L = 1\text{mm}$. O chip está alojado no interior de um substrato de tal modo que as superfícies laterais e inferior estão isoladas termicamente, enquanto sua superfície superior encontra-se exposta a uma substância refrigerante. Se 4W estão sendo dissipados pelos circuitos que se encontram montados na superfície inferior do chip, qual a diferença de temperatura que existe entre as suas superfícies inferior e superior, em condições de regime estacionário, isto é, sem mudança?
- 10) Você experimenta um resfriamento por convecção toda vez que estende sua mão para fora da janela de um veículo em movimento ou que a imerge em uma corrente de água fria. Com a superfície de sua mão a uma temperatura de 30°C , determine o fluxo de calor por convecção para (a) o caso de um veículo a 35 km/h em meio ao ar a -5°C e com coeficiente de transferência de calor por convecção de $40\text{W/m}^2.\text{K}$, e para (b) uma corrente de água com velocidade de $0,2\text{m/s}$, temperatura de 10°C e coeficiente de transferência por convecção de $900\text{W/m}^2.\text{K}$. Qual a condição que o faria sentir “*mais frio*”? Compare estes resultados com uma perda de calor de aproximadamente 30W/m^2 para condições ambientes normais.
- 11) Ar a 40°C escoa por sobre um cilindro longo, com 25mm de diâmetro, que possui um aquecedor elétrico no seu interior. Durante uma bateria de testes foram tomadas medidas da potência dissipada por unidade de comprimento do cilindro, P' , necessária para manter a temperatura da superfície do cilindro em 300°C para diferentes velocidades V da corrente de ar, medidas em uma posição afastada da superfície. Os resultados obtidos foram os seguintes:

Velocidade do ar, V (m/s)	1	2	4	8	12
Potência, P' (W/m)	450	658	983	1507	1963

- a) Determine o coeficiente de transferência de calor por convecção para cada velocidade e apresente os seus resultados em um gráfico.
- b) Supondo que o coeficiente de convecção depende da velocidade de escoamento do ar de acordo com uma relação do tipo $h = CV^n$, determine os parâmetros C e n para os resultados obtidos na parte (a).

- Resolução do exercício 10:

$$T_s = 30^\circ\text{C} \rightarrow T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273 = 303\text{K}$$

$$\dot{Q}_{conv} = h \times A \times (T_f - T_s)$$

- a) um veículo a 35 km/h em meio ao ar a -5°C e $h = 40\text{W/m}^2\cdot\text{K}$:

$$T_{ar} = -5^\circ\text{C} \rightarrow T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273 = 268\text{K}$$

$$\frac{\dot{Q}_a}{A} = 40 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot (268\text{K} - 303\text{K}) \rightarrow \frac{\dot{Q}_a}{A} = -1400 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

- b) uma corrente de água com velocidade de 0,2m/s, temperatura de 10°C e $h = 900\text{W/m}^2\cdot\text{K}$:

$$T_{\text{água}} = 10^\circ\text{C} \rightarrow T(K) = t(^{\circ}\text{C}) + 273 = 283\text{K}$$

$$\frac{\dot{Q}_b}{A} = 900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot (283\text{K} - 303\text{K}) \rightarrow \frac{\dot{Q}_b}{A} = -18000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

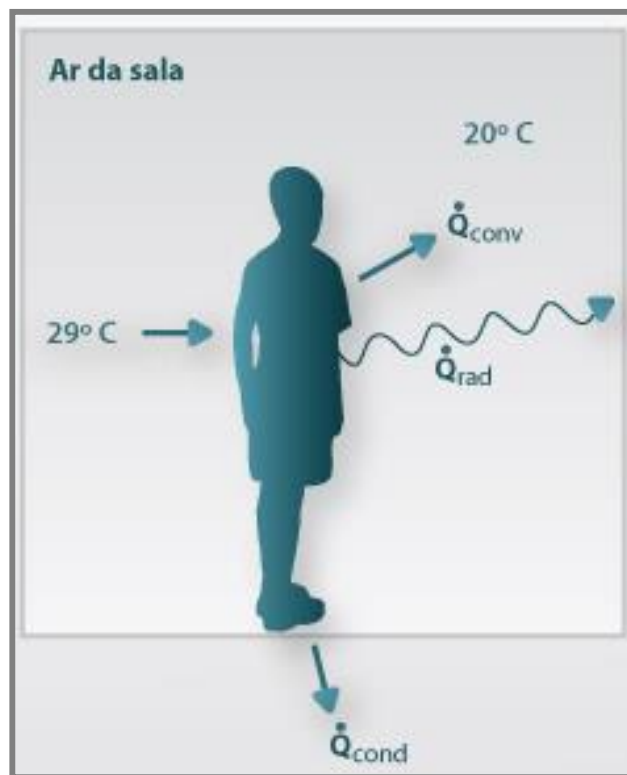
A sensação de maior frio se dá na situação (b).

- Comparações:

$$\frac{\dot{Q}_a}{\dot{Q}_{CN}} = \frac{1400}{30} = 4,67 \qquad \frac{\dot{Q}_b}{\dot{Q}_{CN}} = \frac{18000}{30} = 600$$

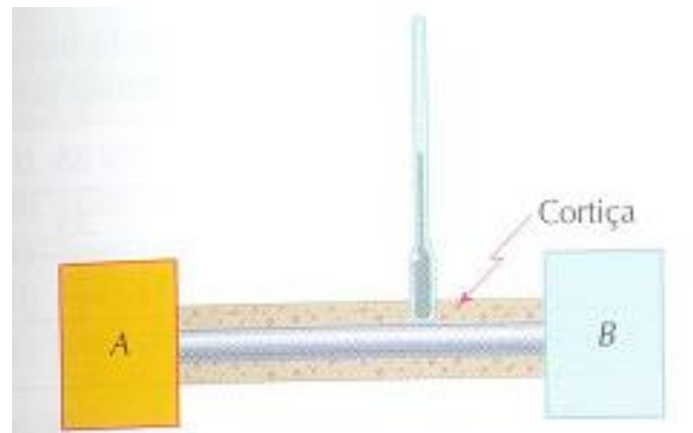
- 12) Determine o calor perdido por uma pessoa, por unidade de tempo, supondo que a sua superfície exterior se encontra a 29°C , sendo a emissividade de 0,95. A pessoa encontra-se numa sala cuja temperatura ambiente é 20°C (T_{∞}) sendo a área do seu corpo de $1,6\text{m}^2$. O coeficiente de transferência de calor entre a superfície exterior da pessoa e o ar pode considerar-se igual a $6\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Simplificações: desprezar a transferência de calor por condução através dos sapatos para o chão e o calor perdido por respiração e transpiração; supor que a temperatura das superfícies envolventes (paredes) é idêntica à temperatura ambiente ($T_{\text{viz}} \approx T_{\infty}$). Resp.: **168 W**

Constante de Stefan-Boltzmann $\rightarrow \sigma = 5.670400(40) \times 10^{-8}\text{ W m}^{-2}\text{ K}^{-4}$



13) (UFG) Um lago tem uma camada superficial de gelo com espessura de 4cm a uma temperatura de -16°C . Determine em quanto tempo o lago irá descongelar sabendo que a potência média por unidade de área da radiação solar incidente sobre a superfície da Terra é $320\text{W}/\text{m}^2$ (dados: calor específico do gelo = $0,5\text{cal}/\text{g}^{\circ}\text{C}$; calor latente de fusão do gelo = $80\text{ cal}/\text{g}$; densidade do gelo = $1\text{g}/\text{cm}^3$; $1\text{cal} = 4\text{J}$).
 Resp.: $\approx 12,2\text{ h}$

14) (UEA-AM) A figura apresenta uma barra de chumbo de 40 cm de comprimento e área de secção transversal de 10cm^2 isolada com cortiça; um termômetro fixo na barra calibrado na escala Fahrenheit e dois dispositivos A e B que proporcionam, nas extremidades da barra, as temperaturas correspondentes aos pontos do vapor e do gelo, sob pressão normal, respectivamente. Considerando a intensidade da corrente térmica constante ao longo da barra, determine a temperatura registrada no termômetro, sabendo-se que ele se encontra a 32 cm do dispositivo A (dado: coeficiente de condutividade térmica do chumbo $k = 8 \times 10^{-2}\text{ cal}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)
 Resp.: 20°C ou 68°F .



15) (Mackenzie-SP) Têm-se três cilindros de mesmas secções transversais de cobre, latão e aço, cujos comprimentos são, respectivamente, de 46 cm, 13 cm e 12 cm. Soldam-se os cilindros, formando o perfil em Y indicado na figura. O extremo livre do cilindro de cobre é mantido a 100°C e os cilindros de latão e aço a 0°C . Suponha que a superfície lateral dos cilindros esteja isolada termicamente. As condutividades térmicas do cobre, do latão e do aço valem, respectivamente, 0,92, 0,26 e 0,12 expressas em $\text{cal}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$. No estado estacionário (sem mudança) de condução, qual é a temperatura na junção?

Referências Sitigráficas

- http://alexandregrillo.com.br/website/downloads/unifeso_aulas_de_transporte_de_calor/aula_IV_t_c_convercao_de_calor.pdf
- http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/f/fe/Apostila_TCL_2010_Parte_3.pdf
- <http://www.romiotto.com.br/raytek/tecnologia/valores-tipicos-de-emissividade-romiotto-instrumentos-de-medicao.pdf>
- http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=248&Itemid=422#4
- <http://def.fe.up.pt/fisica3/termodinamica5/index.html>
- <http://www.uff.br/fisiovet/Conteudos/termorregulacao.htm>
- <http://www.dca.iag.usp.br/www/material/fgoncalv/old/aula7.pdf>
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Invers%C3%A3o_t%C3%A9rmica
- <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/anexo/inversao.htm>
- <http://www.geocities.ws/resumodefisica/calorimetria/cal05.html>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Supercritical_carbon_dioxide
- [http://sites.poli.usp.br/pme/sisea/Portugues/disciplinas/ApostilaPME2361/Aulas%2012-15-Convec%C3%A7%C3%A3o%20\(incompleta\).pdf](http://sites.poli.usp.br/pme/sisea/Portugues/disciplinas/ApostilaPME2361/Aulas%2012-15-Convec%C3%A7%C3%A3o%20(incompleta).pdf)
- <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=21378>
- <http://www.infoescola.com/fisica/calorimetria/exercicios/>
- http://www.feiradeciencias.com.br/sala02/02_100.asp (inversão térmica)
- <https://www.todamateria.com.br/termodinamica/>