



# 4300159 – Física do Calor

**Prof. Marcio Varella**

email: [mvarella@if.usp.br](mailto:mvarella@if.usp.br)

página: <http://fig.if.usp.br/~mvarella/>

Edifício Principal, Ala I, Sala 330

Fone: 3091-6791

## **Turma 1**

|        |                        |                 |
|--------|------------------------|-----------------|
| Quarta | Sala 211 - Ala Central | 10:00h – 12:00h |
| Sexta  | Sala 211 - Ala Central | 8:00h – 10:00h  |



## Cadastrem-se no Moodle Stoa USP

- Repositório de informações da disciplina
- É imprescindível se **cadastrear** no Stoa e **visitar frequentemente a página da disciplina:**

*<http://disciplinas.stoa.usp.br>*

- Informações gerais
- Leitura
- Notas
- Listas
- ...



# Física do Calor - Conteúdo

- Temperatura, Termometria, Equilíbrio e Lei Zero
- Dilatação Térmica
- Calorimetria e Mudança de Fase
- Teoria Cinética dos Gases
- Calor, Trabalho e Primeira Lei
- Entropia e Segunda Lei

## Bibliografia

- Curso de Física Básica, Vol. II (Moysés Nussenzveig)
- Física 2: Termodinâmica e Ondas (Sears & Zemansky / Young & Freedman)



# Física do Calor - Avaliação

MF = Média Final

S = Soma das Provinhas

$$MF = (P1 + P2 + S)/3$$

## Datas das Avaliações

Provinhas: 18/08 13/09 25/10 17/11

Provas: 04/10 06/12

# Termodinâmica vs Mecânica

- **Mecânica.** Ponto de vista microscópico (atomístico): pontos materiais; solução das Equações de Movimento.
- **Termodinâmica.** Ponto de vista macroscópico: utiliza variáveis macroscópicas (volume, pressão temperatura), para descrever o estado de sistemas formados por grandes números de partículas ( $\sim 10^{23}$ ).
- A conexão entre as duas abordagens é realizada pela **Física Estatística.**

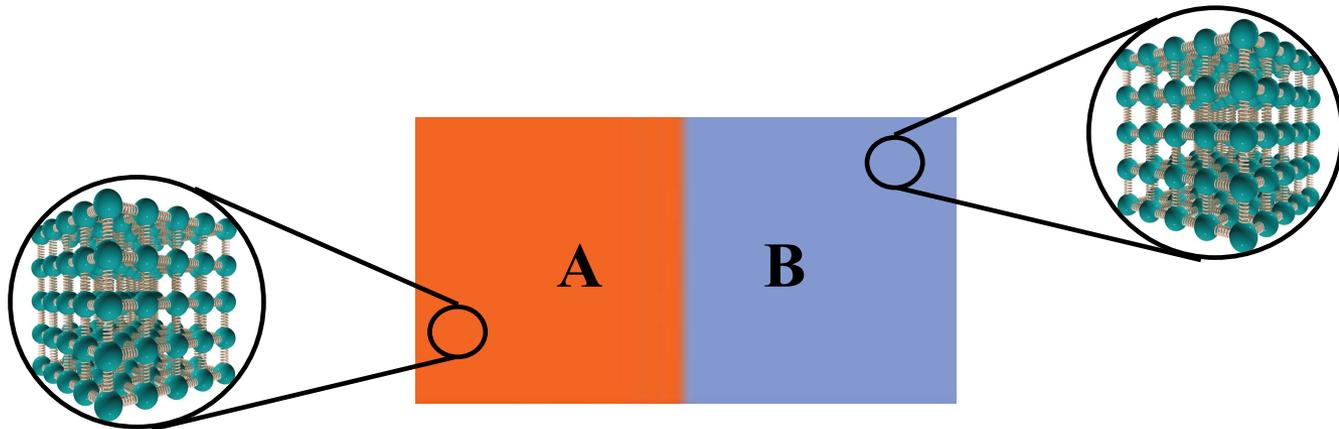
# Sensação Térmica vs. Temperatura



- Embora sensação térmica (subjetiva) esteja relacionada à temperatura, não conduz a uma boa definição de temperatura.
- Como obter uma definição precisa e não ambígua que viabilize a descrição matemática da Termodinâmica?

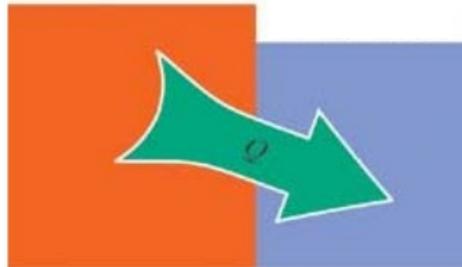
# Temperatura

- Dois corpos em **contato térmico** podem trocar energia sem que haja realização de trabalho em nível macroscópico (através da interação eletromagnética entre os átomos).
- A *energia* que transita entre os corpos, devido *apenas ao contato térmico*, é denominada **calor**.
- Na situação de **equilíbrio térmico**, não há trânsito de energia (líquido, em nível macroscópico) resultante do contato térmico.



# Temperatura

- Se houver trânsito de energia (calor) entre dois corpos devido ao contato térmico, estes estarão fora de equilíbrio térmico e *em temperaturas diferentes* (por definição).
- Se não houver trânsito de energia na mesma situação, os corpos terão *temperaturas iguais* (por definição).
- A temperatura é a propriedade física associada ao equilíbrio térmico: *dois corpos em equilíbrio térmico têm temperaturas iguais*.



fora de equilíbrio térmico



em equilíbrio térmico

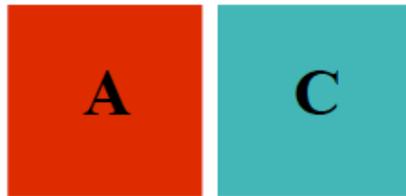
# Lei Zero da Termodinâmica

- Se dois corpos (A e B) estão ambos em equilíbrio térmico com um terceiro corpo (C), então A e B estão em equilíbrio térmico entre si.
- É equivalente afirmar: se A e B têm a mesma temperatura que C, então A e B têm a mesma temperatura.

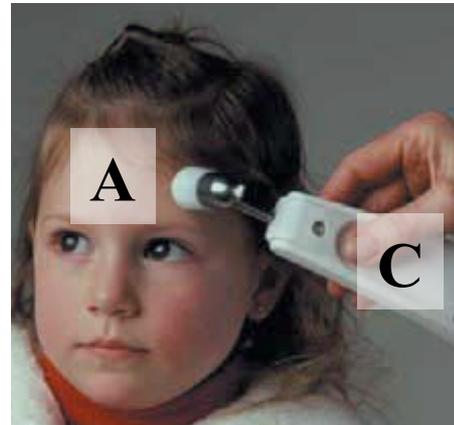


# Termômetros e Termometria

– Um corpo (digamos, C) que esteja em equilíbrio térmico com outro (digamos, A), em princípio permite determinar a temperatura deste. O corpo C pode então ser entendido como **termômetro**.



Equilíbrio  
Térmico



– Para medir a temperatura é preciso:

(i) Acessar a temperatura do corpo C (termômetro) por meio de alguma propriedade física.

(ii) Estabelecer (convencionar) uma escala de temperatura.

# Termômetros e Termometria

- Há muitas propriedades físicas dependentes da temperatura: dimensões de sólidos, resistência elétrica, pressão/volume de um gás.
- A relação entre a propriedade física ( $P$ ) e a temperatura ( $T$ ), estabelece uma função  $P(T)$  que permite determinar a temperatura do objeto a ser utilizado como termômetro. Idealmente, iremos admitir uma relação linear,  $P(T) = aT + b$ .



1) Equilíbrio térmico entre termômetro e ar:  
 $h(t_1)$

2) Equilíbrio térmico entre termômetro e líquido:  
 $h(t_2)$

**Questão:** Qual das afirmativas abaixo você considera mais correta?  
Justifique sua resposta.



(a) A leitura do termômetro indica sua própria temperatura.

(b) A leitura do termômetro indica a temperatura da criança.

(c) A leitura do termômetro indica a média das temperaturas do termômetro e da criança.

**Pergunta:** Suponha que a altura da coluna de mercúrio seja uma função linear da temperatura do bulbo (reservatório de mercúrio):

$$h(T) = at + b$$



De que forma poderemos calibrar o termômetro, isto é, determinar as constantes  $a$  e  $b$  de forma a permitir obter a temperatura em função da altura da coluna?

$$t = (h - b)/a$$

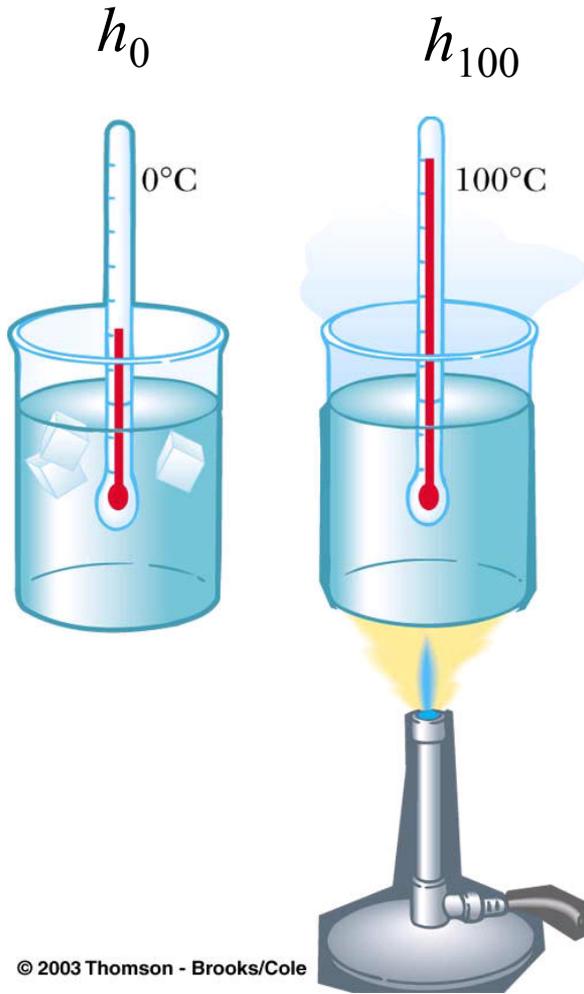
1) Em geral, é necessário conhecer uma função linear em dois pontos para determinar suas constantes arbitrárias ( $a$  e  $b$ ).

2) Assim, deveremos *arbitrar* duas temperaturas de referência. Isso permitirá determinar as constantes  $a$  e  $b$  em uma dada *escala de temperatura*.

**Exemplo: Escala Celcius.** Nesta escala, as temperaturas de referência são:

(i) a temperatura de fusão da água a 1 atm (arbitrada como  $t = 0^\circ\text{C}$ );

(ii) a temperatura de ebulição da água a 1 atm (arbitrada como  $t = 100^\circ\text{C}$ ).



© 2003 Thomson - Brooks/Cole

– Sendo  $h_0$  e  $h_{100}$  as leituras (alturas da coluna de mercúrio) nas temperaturas de referência:

$$h_0 = a \cdot 0 + b \Rightarrow b = h_0$$

$$h_{100} = a \cdot 100 + b \Rightarrow a = (h_{100} - h_0)/100$$

– Portanto:

$$h(t) = \frac{(h_{100} - h_0)}{100} t + h_0$$

$$t(h) = 100 \times \frac{(h - h_0)}{(h_{100} - h_0)} \quad [^\circ \text{C}]$$