



4300159 – Física do Calor

**Lei Zero da Termodinâmica,  
Termômetros e Termometria**

- Sensação Térmica vs Temperatura
- Contato Térmico e Calor
- Equilíbrio Térmico (mesma temperatura)



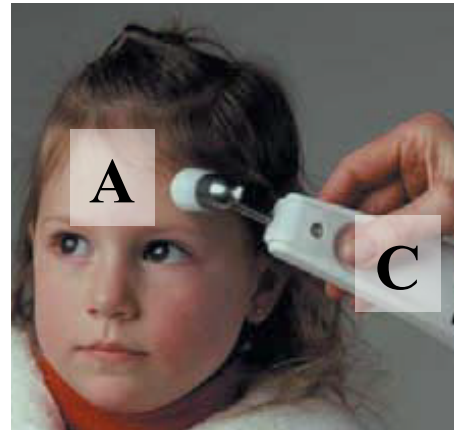
- Lei Zero da termodinâmica



# Termômetros e Termometria



Equilíbrio  
Térmico

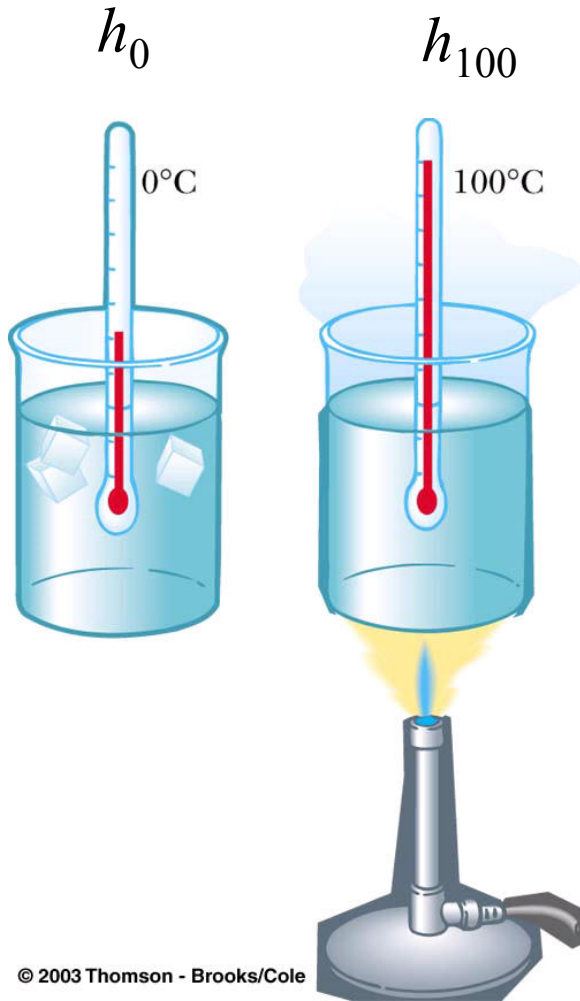


– Admitindo uma relação linear entre uma propriedade física do termômetro e a temperatura,  $P(t) = at + b$ , é necessário:

(i) Eleger dois sistemas de referência e arbitrar suas temperaturas.

(ii) Obter a relação entre a temperatura e a propriedade física. No caso da relação linear:  $t = (P - b)/a$ .

# Escala Celcius



– 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:

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

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

# Escala Farenheit

Podemos definir a escala Farenheit (modernamente) arbitrando que a temperatura de fusão do gelo seja  $32^{\circ}\text{F}$  e que a temperatura de vaporização da água seja  $212^{\circ}\text{F}$ .

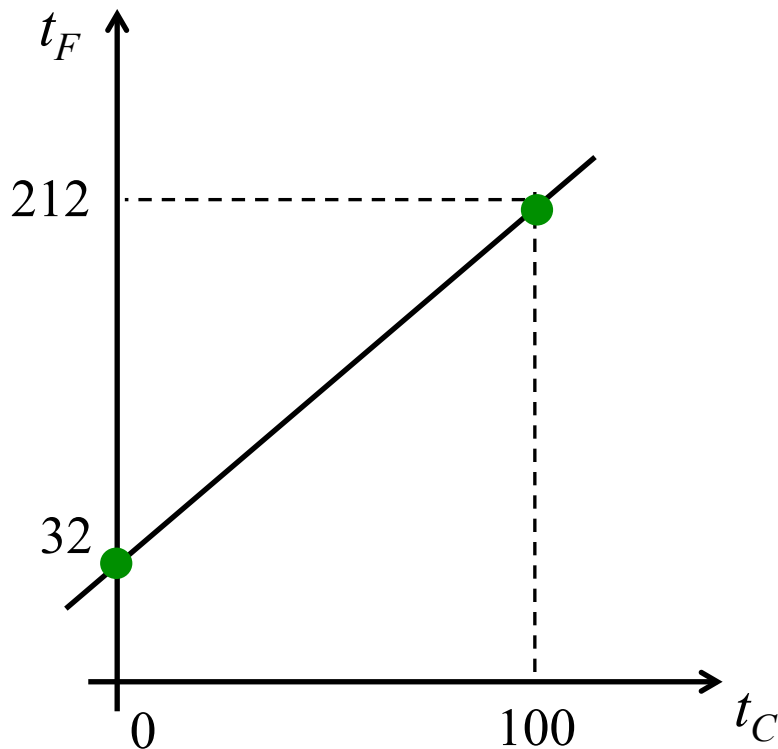
1) A variação de temperatura de  $1^{\circ}\text{F}$  corresponde a qual variação em  $^{\circ}\text{C}$ ?

2) Qual a conversão entre temperaturas medidas na escala Celcius ( $t_C$ ) e na escala Farenheit ( $t_F$ )?

1) Tomando a diferença entre as temperaturas de referência em ambas as escalas:

$$\Delta t = (t_{\text{vap}} - t_{\text{fus}}) = 100^{\circ}\text{C} = 180^{\circ}\text{F} \implies 1^{\circ}\text{C} = 1.8^{\circ}\text{F}$$

2) Tomando as temperaturas de referência uma vez mais:



$$t_F = \alpha t_C + \beta$$

$$\alpha = \frac{212-32}{100-0} = \frac{180}{100} = \frac{9}{5}$$

$$\beta = 32 - \alpha 0 = 32$$

$$t_F = \frac{9}{5}t_C + 32$$

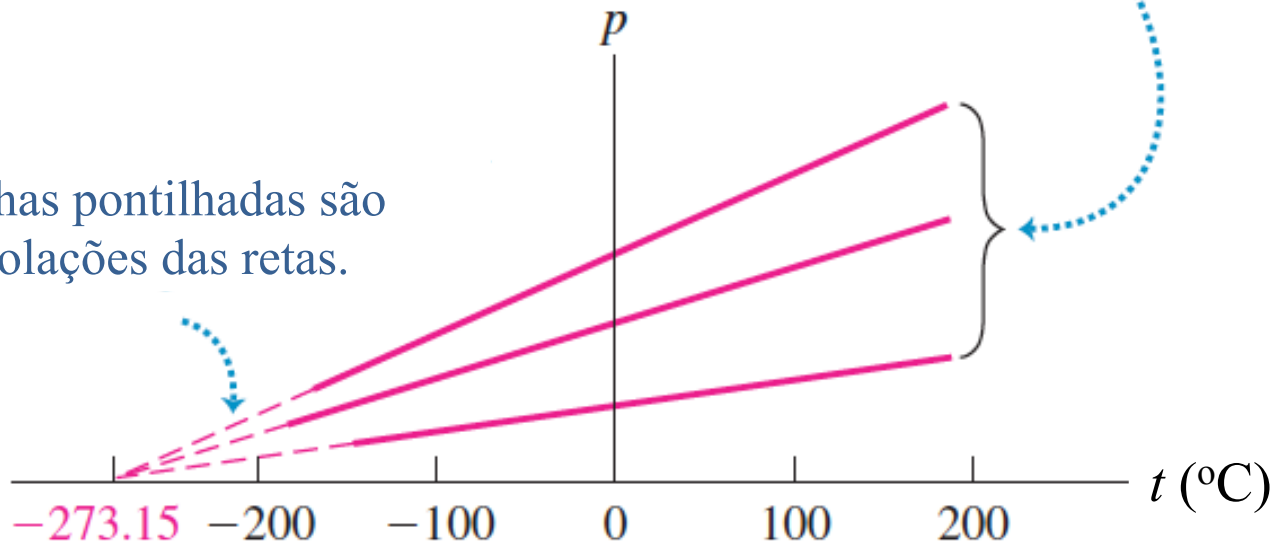
# Termômetro de Gás



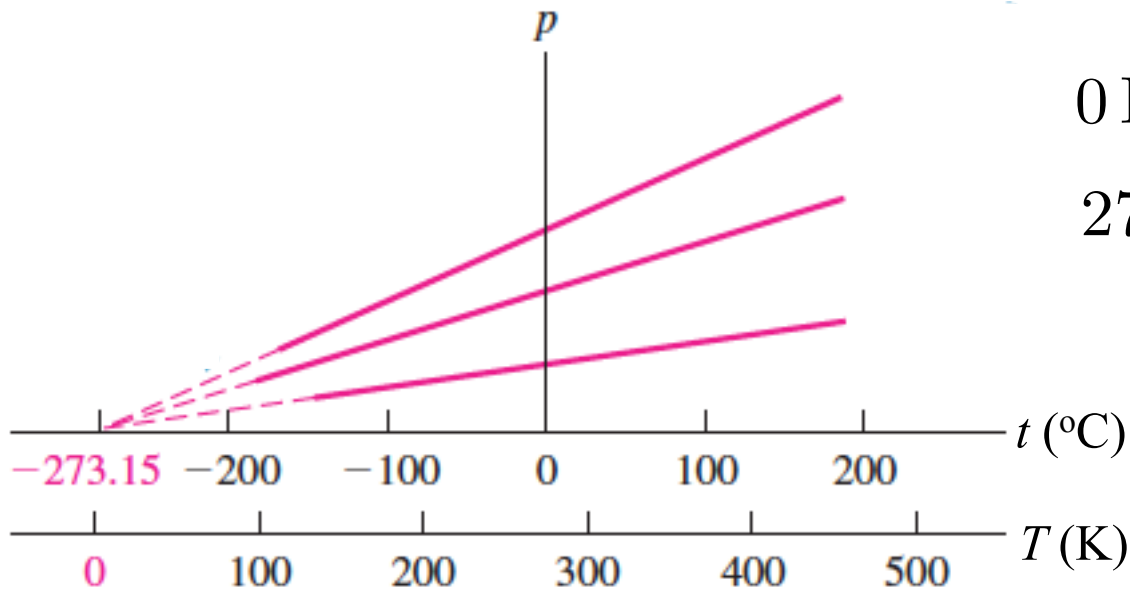
- Lei de Dalton (1801): A pressão de um gás a volume constante é proporcional à sua temperatura.
- Calibrando o termômetro (com duas temperaturas de referência), é imediato obter a temperatura em função da pressão:  $t(p)$

Resultados para diferentes gases (tipo e quantidade).

As linhas pontilhadas são extrapolações das retas.



# Escala Kelvin



$$0 \text{ K} = -273.15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

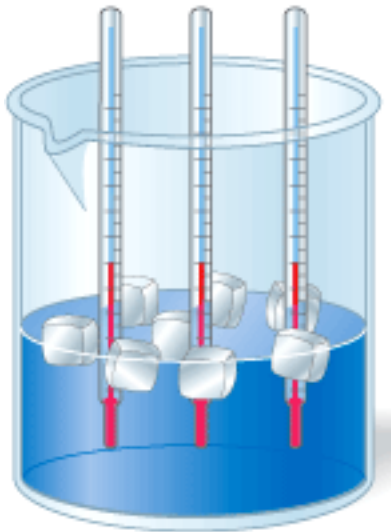
$$273.15 \text{ K} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T = t_C + 273.15$$

- A unidade de temperatura do SI é o Kelvin (**não** grau Kelvin).
- A temperatura (em Kelvin) será denotada por  $T$  (maiúsculo).



**Questão:** a figura abaixo ilustra a situação em que três termômetros construídos da mesma forma, porém calibrados em graus Celcius, graus Farenheit e Kelvin, estão em equilíbrio com a água em sua temperatura de fusão. Essa ilustração:

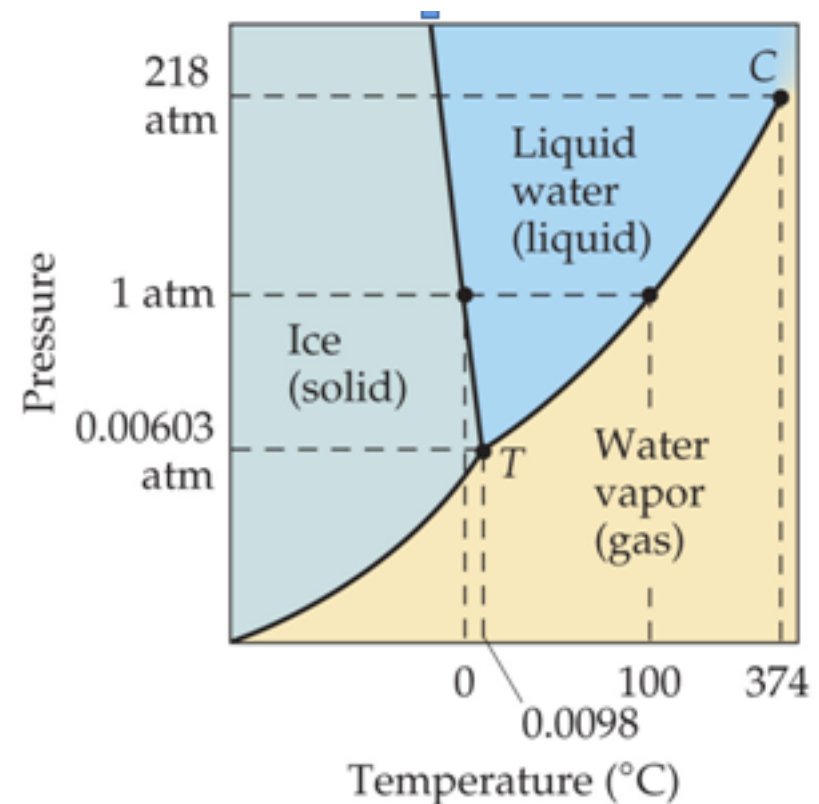


(a) Está qualitativamente **correta**, pois as três colunas dos termômetros têm alturas iguais.

(b) Está qualitativamente **incorreta**, pois as três colunas dos termômetros têm alturas iguais.

**Problema:** É usual definir a escala Kelvin utilizando apenas uma temperatura de referência, o ponto triplo da água,  $0.01^{\circ}\text{C}$ .

Discuta como construir a escala Kelvin utilizando um termômetro de gás, e o ponto triplo da água como temperatura de referência. (Dica: não se esqueça da Lei de Dalton).





$p_{\text{ref}}$

– Denotando por  $T_{\text{ref}}$  a temperatura do ponto triplo da água, e por  $p_{\text{ref}}$  a leitura (pressão) do termômetro de gás nessa temperatura, poderemos explorar a Lei de Dalton:

$$\frac{p}{T} = \frac{p_{\text{ref}}}{T_{\text{ref}}} \implies T = \frac{T_{\text{ref}}}{p_{\text{ref}}} p$$

– Por consistência com a definição anterior para a escala Kelvin, iremos arbitrar  $T_{\text{ref}} = 273.16 \text{ K}$ , de forma que:

$T_{\text{ref}}$

$$T = 273.16 \text{ K} \frac{p}{p_{\text{ref}}}$$