

# **Expansão Térmica**

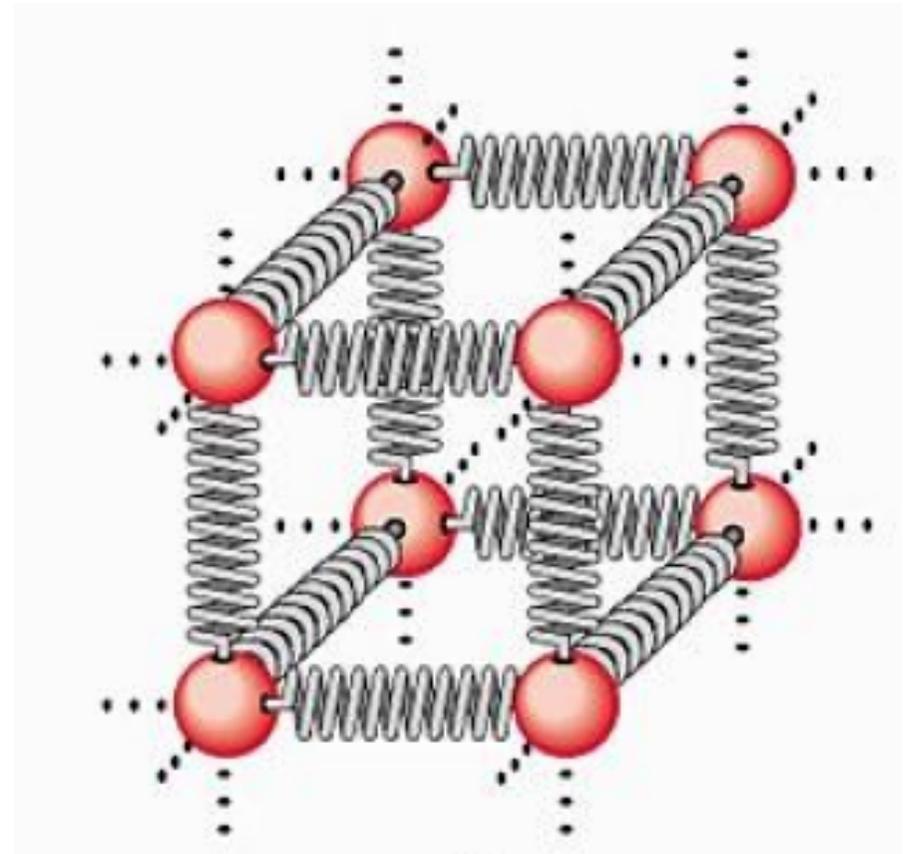
Prof. Marco Simões

# Expansão térmica



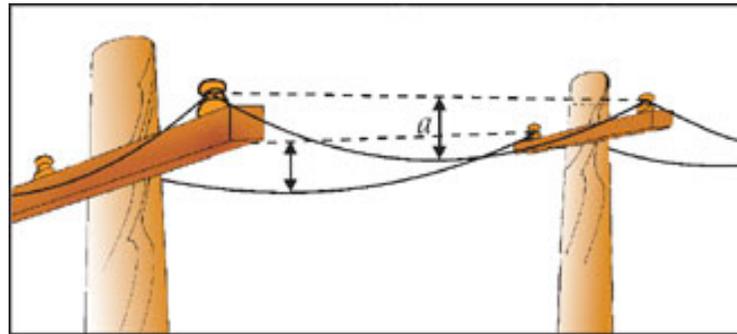
# Expansão térmica

- Praticamente todos os materiais têm suas dimensões alteradas por conta da mudança da temperatura.
- Podemos relacionar esse o aumento (ou diminuição) com o maior ou menor distanciamento entre os átomos do material.

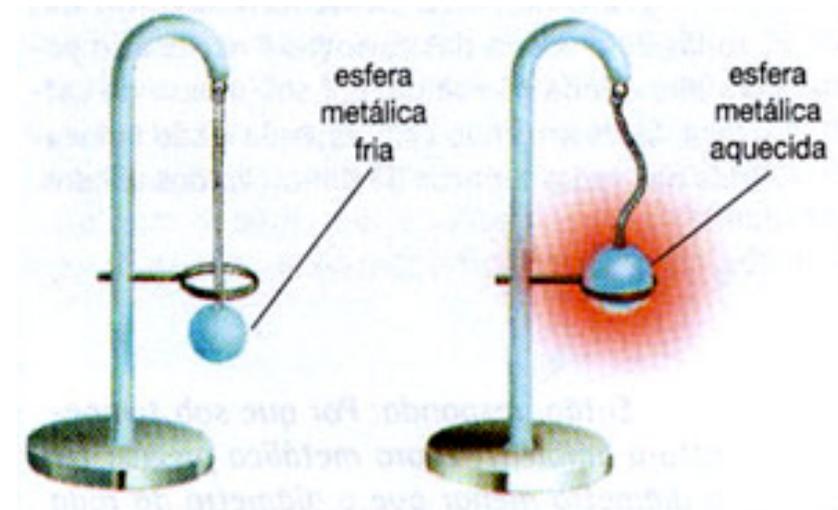
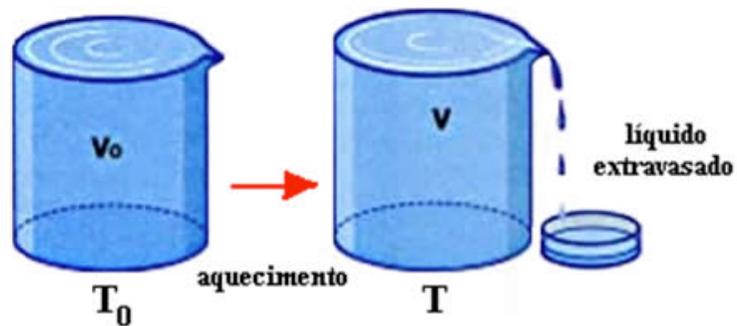


# Expansão térmica

- Dilatação linear

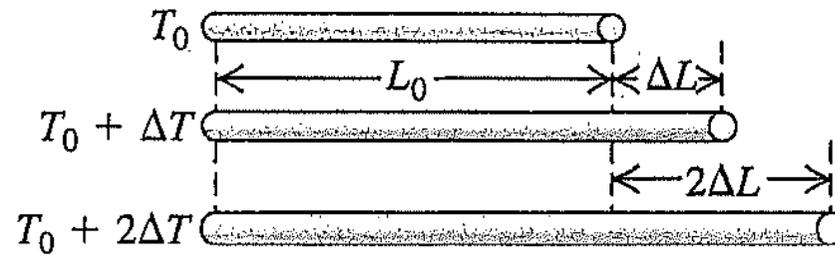


- Dilatação volumétrica

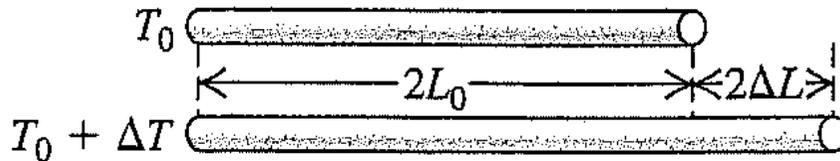
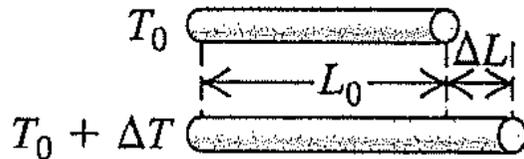


# Dilatação linear

- A variação do comprimento é diretamente proporcional:
  - à variação da temperatura



- ao comprimento inicial:



# Dilatação linear

- A variação de comprimento é expressa por:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$$

- O comprimento final é expresso por:

$$L = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$L = L_0 + \Delta L$$

$$L = L_0 + (\alpha L_0 \Delta T)$$

$$L = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

- Onde

- L -> Comprimento final (m)
- $L_0$  -> comprimento inicial (m)
- $\alpha$  -> coeficiente de dilatação linear ( $K^{-1}$  ou  $^{\circ}C^{-1}$ )
- $\Delta T$  -> variação da temperatura (K ou  $^{\circ}C$ )

# Coeficiente de dilatação linear

<b>Material</b>	<b><math>\alpha</math> [<math>\text{K}^{-1}</math> ou <math>(^\circ\text{C})^{-1}</math>]</b>
Alumínio	$2,4 \times 10^{-5}$
Latão	$2,0 \times 10^{-5}$
Cobre	$1,7 \times 10^{-5}$
Vidro	$0,4-0,9 \times 10^{-5}$
Invar (liga de ferro-níquel)	$0,09 \times 10^{-5}$
Quartzo (fundido)	$0,04 \times 10^{-5}$
Aço	$1,2 \times 10^{-5}$

# Dilatação volumétrica

- A variação do volume é expressa por:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T$$

$$V = V_0 (1 + \beta \Delta T)$$

$$\beta = 3\alpha$$

$V$  -> Volume final

$V_0$  -> Volume inicial

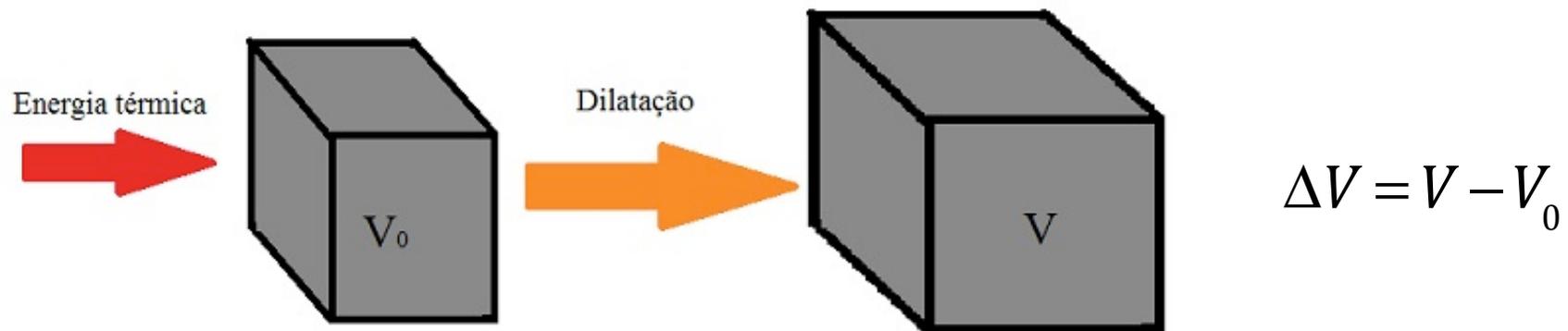
$\beta$  -> Coeficiente de dilatação volumétrica

$\Delta T$  -> Variação de temperatura

$$V = V_0 + \Delta V$$

$$V = V_0 + \beta V_0 \Delta T$$

$$V = V_0 (1 + \beta \Delta T)$$



# Coeficiente de dilatação volumétrica

Sólidos	$\beta$ [ $K^{-1}$ ou $(^{\circ}C)^{-1}$ ]	Líquidos	$\beta$ [ $K^{-1}$ ou $(^{\circ}C)^{-1}$ ]
Alumínio	$7,2 \times 10^{-5}$	Álcool etílico	$75 \times 10^{-5}$
Latão	$6,0 \times 10^{-5}$	Dissulfeto de carbono	$115 \times 10^{-5}$
Cobre	$5,1 \times 10^{-5}$	Glicerina	$49 \times 10^{-5}$
Vidro	$1,2-2,7 \times 10^{-5}$	Mercurio	$18 \times 10^{-5}$
Invar (liga de ferro-níquel)	$0,27 \times 10^{-5}$		
Quartzo (fundido)	$0,12 \times 10^{-5}$		
Aço	$3,6 \times 10^{-5}$		

# Exemplo

- Um agrimensor usa uma fita de aço de 50 metros a uma temperatura de 20°C. Em um dia ensolarado, a fita métrica ficou exposta ao Sol, e chegou a uma temperatura de 40°C. Qual é seu comprimento a essa temperatura? O coeficiente de dilatação linear do aço é  $1,2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ .

$$L = L_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$L = 50 \left( 1 + 1,2 \times 10^{-5} \cdot (40 - 20) \right)$$

$$L = 50,01 \text{ m}$$

# Exemplo

- Um frasco de vidro com volume igual a  $200 \text{ cm}^3$  a  $20^\circ\text{C}$  está cheio de mercúrio (Hg) até a borda. Calcule o que acontecerá se esse conjunto for aquecido até  $100^\circ\text{C}$ . O coeficiente de dilatação linear do vidro é  $0,40 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  e o coeficiente de dilatação volumétrica do mercúrio é  $18 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ .

Aumento de volume do vidro:

$$\beta_{\text{vidro}} = 3 \cdot \alpha_{\text{vidro}} \Rightarrow \beta_{\text{vidro}} = 3 \cdot 0,40 \times 10^{-5} \Rightarrow \beta_{\text{vidro}} = 1,2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta V_{\text{vidro}} = \beta_{\text{vidro}} \cdot V_0 \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta V_{\text{vidro}} = 1,2 \times 10^{-5} \cdot 2,0 \times 10^{-4} \cdot (100 - 20) \Rightarrow \Delta V_{\text{vidro}} = 1,9 \times 10^{-7} \text{ m}^3 = 0,19 \text{ cm}^3$$

Aumento de temperatura do mercúrio:

$$\Delta V_{\text{Hg}} = \beta_{\text{Hg}} \cdot V_0 \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta V_{\text{Hg}} = 18 \times 10^{-5} \cdot 2,0 \times 10^{-4} \cdot (100 - 20) \Rightarrow \Delta V_{\text{Hg}} = 2,9 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 2,9 \text{ cm}^3$$

Conclusão: haverá o derramamento de  $2,9 - 0,19 = 2,7 \text{ cm}^3$  de mercúrio

# Tensão térmica

- É possível calcular o esforço gerado pela dilatação (compressão) ou contração (tração) pela seguinte fórmula:

$$F = -Y \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot A$$

- Onde
  - F -> força
    - de tração (+) ou compressão (-)
  - A -> seção transversal do material
  - Y -> módulo de Young (Pa)
  - $\alpha$  -> coeficiente de dilatação linear
  - $\Delta T$  -> variação de temperatura

Material	Módulo de Young, Y (Pa)
Alumínio	$7,0 \times 10^{10}$
Bronze	$9,0 \times 10^{10}$
Cobre	$11 \times 10^{10}$
Vidro Crown	$6,0 \times 10^{10}$
Ferro	$21 \times 10^{10}$
Chumbo	$1,6 \times 10^{10}$
Níquel	$21 \times 10^{10}$
Aço	$20 \times 10^{10}$

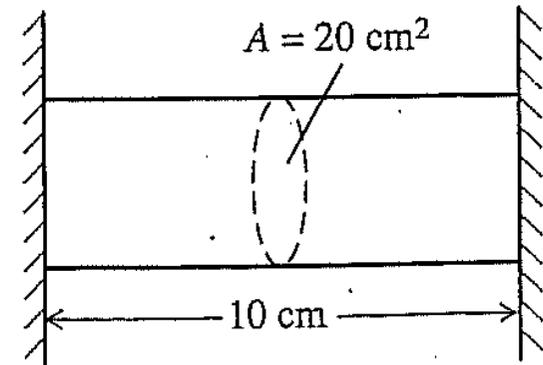
# Exemplo

- Um cilindro de alumínio de 10 cm de comprimento e seção reta com área igual a 20 cm<sup>2</sup> deve ser usado para separar duas paredes de aço. A 17,2 °C ele escorrega livremente com folga desprezível entre as duas paredes. Supondo que as paredes sejam completamente rígidas, calcule a força que ele exercerá sobre elas quando for aquecido até 22,3°C.

$$F = -Y \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot A$$

$$F = -7,0 \times 10^{10} \cdot 2,4 \times 10^{-5} \cdot (22,3 - 17,2) \cdot 20 \times 10^{-4}$$

$$F = -1,71 \times 10^4 \text{ N}$$



O sinal negativo indica que é necessário um esforço de compressão para manter o comprimento do cilindro constante