

7a Experiência: Dilatação Térmica

4300254 - Laboratório de Mecânica - 1o Semestre/2015

1. Introdução: Coeficiente de dilatação térmica linear

Em geral, os corpos se dilatam com o aumento da temperatura¹.

Uma barra inicialmente na temperatura T , com comprimento L , quando sofrer uma variação infinitesimal dT na temperatura, terá uma variação infinitesimal dL no comprimento que pode ser escrita na forma

$$dL = \alpha(T) L dT \quad (1)$$

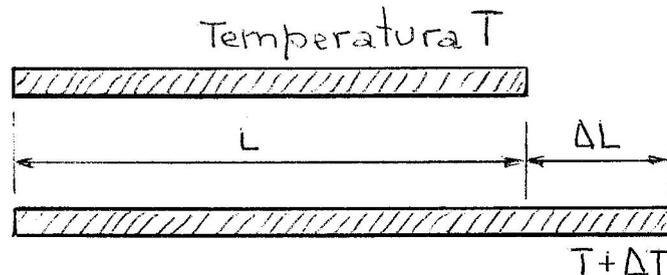


Figura 1. Expansão térmica de uma barra.

Esta equação define o *coeficiente de dilatação térmica linear* $\alpha(T)$ do material na temperatura T .

A Equação 1 pode ser integrada para se obter a variação finita ΔL no comprimento, quando a temperatura sofre uma variação finita ΔT :

$$\Delta L = \alpha L \Delta T \quad \text{onde} \quad \alpha \Delta T = \int_T^{T+\Delta T} \alpha(T) dT \quad (2)$$

Isto é, α é o valor médio de $\alpha(T)$ no intervalo de temperatura entre T e $(T + \Delta T)$.

Em geral, os valores médios α são tabelados para faixas relativamente extensas de temperatura, tal como na Tabela 1, por exemplo. Em geral, o coeficiente $\alpha(T)$ varia pouco com a temperatura e, por isso, o valor médio α é usualmente utilizado de maneira aproximada na Equação 2 para quaisquer intervalos ΔT na faixa considerada.

Com relação à Tabela 1, é importante observar que α pode ter variações significativas com pequenas variações na composição dos materiais.

Como unidade para α pode-se usar $^{\circ}C^{-1}$ ou K^{-1} , uma vez que **variações** de temperatura em kelvins ou em graus Celsius são exatamente iguais, por definição.

Tabela 1. Valores médios de α para alguns materiais na faixa de temperaturas entre $0^{\circ}C$ e $100^{\circ}C$,

Material	$\alpha(10^{-6} K^{-1})$	Material	$\alpha(10^{-6} K^{-1})$
Alumínio e ligas	25	Invar (liga de Fe/Ni)	1,2
Cobre	18	Superinvar (liga Fe/Ni/Co)	0,5
Ferro	11	Vidro comum	9
Latão (liga de Cu/Zn)	19	Vidro pyrex	3,2
Chumbo e ligas	29	Quartzo fundido	0,6

¹Excepcionalmente, em pequenas faixas de temperatura, corpos podem sofrer contração. Uma exceção notável é a contração da água entre $0^{\circ}C$ e $4^{\circ}C$, fato de extrema importância para a natureza.

2. Experiência

A experiência consiste em medir o coeficiente de dilatação térmica linear de uma barra metálica.

2.1. Arranjo experimental

O arranjo experimental é mostrado esquematicamente na Figura 2. O arranjo consiste de um suporte de ferro para uma barra de um metal X com coeficiente de dilatação a ser determinado experimentalmente. Na parte inferior, a barra é apoiada por uma bucha de teflon que suporta temperaturas altas até cerca de 150°C e isola termicamente a barra do suporte. Na parte superior a barra é apoiada num *relógio comparador*, descrito em maiores detalhes na sequência. O relógio comparador permite medição de deslocamentos da *haste de contacto* de 10 em $10\ \mu\text{m}$. Uma pequena bucha de teflon na haste de contacto isola termicamente a barra do relógio comparador.

A medição de temperatura pode ser feita nos pontos A, B e C da barra, por meio de termopares. O funcionamento de um termopar é resumido na sequência. Idealmente, a barra deveria ter a mesma temperatura em todos os pontos. Na experiência, as temperaturas T_A , T_B e T_C devem ser equalizadas da melhor maneira possível, sendo admitida como temperatura T da barra a média das temperaturas T_A , T_B e T_C .

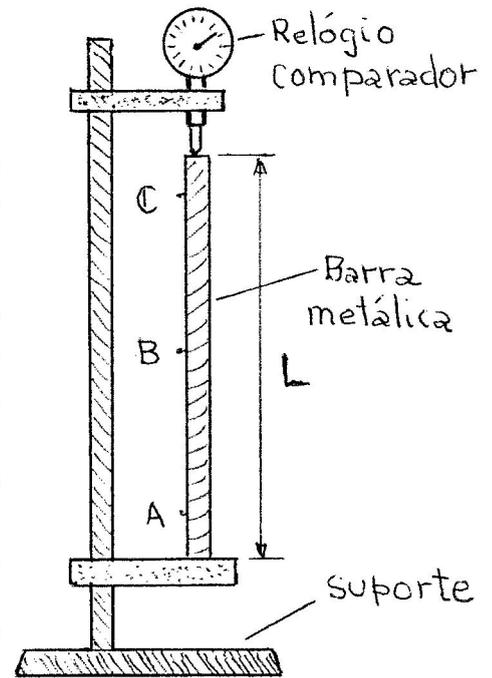


Fig. 2. Arranjo experimental.

2.2. Relógio comparador

O relógio comparador é um instrumento que, por meio de um mecanismo de engrenagens de precisão, converte em rotação de um ponteiro^a o deslocamento linear de uma *haste de contacto*. Assim, o ponteiro do relógio comparador permite medir diretamente o deslocamento de sua haste de contacto.

No relógio comparador usado na experiência, para $1\ \text{mm}$ de deslocamento da haste, o ponteiro realiza exatamente uma volta, que é dividida em 100 divisões. Isto é, cada divisão de deslocamento do ponteiro corresponde a $0,01\ \text{mm} = 10\ \mu\text{m}$ de deslocamento da haste.

^aSemelhante ao ponteiro de um relógio. Daí o nome "relógio" comparador.

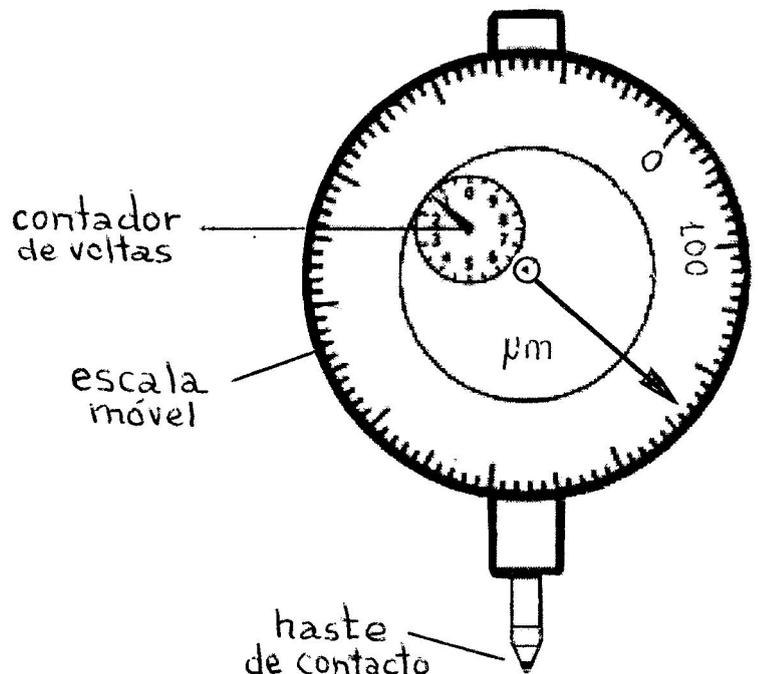


Fig. 3. Relógio comparador.

2.3. Termopar para medição de temperatura

O princípio de funcionamento do termopar para medição de temperatura é o *efeito termoelétrico* (efeito Seebeck). Este efeito consiste no surgimento de uma *tensão termoelétrica* V , quando 2 junções de 2 metais diferentes A e B estão em temperaturas diferentes T_0 e T .

A tensão termoelétrica é, aproximadamente, proporcional à diferença de temperatura entre as junções:

$$V = C_{par} (T - T_0)$$

onde C_{par} é uma constante característica do termopar.

Assim, mantendo-se uma junção numa temperatura T_0 fixa e conhecida, a medição da tensão termoelétrica V com um voltímetro permite obter a temperatura.

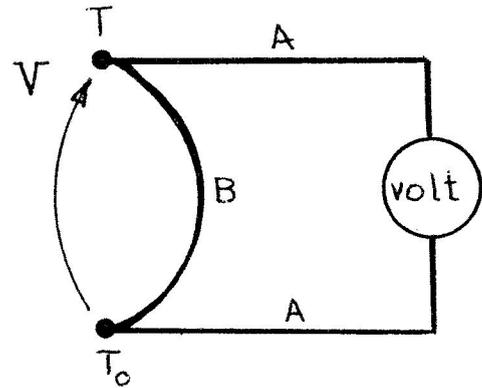


Figura 4. Termopar.

2.4. Procedimento experimental, medições e análise dos resultados

- Medir o comprimento da barra na temperatura ambiente (L_0).
- Zerar cuidadosamente o relógio comparador e verificar se todos os suportes estão bem fixados. Verificar se, com pequenos toques na estrutura, o relógio comparador não sai de zero.
- Medir as temperaturas iniciais da barra T_{0A} , T_{0B} e T_{0C} (próximas da ambiente).
- Aquecer a barra metálica com um “heatgun” até cerca de $130^\circ C$. Deve ser observado que apenas a barra metálica deve ser aquecida e a haste de ferro deve ser mantida na temperatura ambiente. Neste aquecimento inicial, a haste de ferro deve ser protegida com uma chapa metálica.

CUIDADO: O heatgun pode provocar danos sérios tais como queimaduras, danos aos equipamentos e até incêndios. Por isso, deve ser usado com a máxima atenção, evitando aplicar o jato de ar quente nos fios e nas extremidades da barra.

O heatgun deve ser sempre desligado **IMEDIATAMENTE** após o uso.

- As temperaturas T_A , T_B e T_C devem ser equalizadas o melhor possível, com diferenças não maiores que $5^\circ C$ nas temperaturas maiores. Calcular o valor médio T_0 e a respectiva incerteza.
- Conforme a barra esfria, usar o maçarico regularmente para manter as temperaturas T_A , T_B e T_C mais próximas possível. Medir as temperaturas em função do deslocamento ΔL indicado pelo relógio comparador. Por simplicidade, deveriam ser escolhidas leituras múltiplas de $100 \mu m$ inicialmente, passando a $50 \mu m$ nas temperaturas mais baixas. As leituras de temperatura podem ser “travadas” usando a tecla “hold”, quando o relógio comparador indicar a leitura escolhida. Destruar os termômetros (tecla “hold”) imediatamente após anotar as temperaturas.
- Calcular os valores médios (T) das temperaturas e respectiva incerteza. Calcular $\Delta T = T - T_0$.
- Fazer um gráfico preliminar $y \times x$ ($x \equiv \Delta T$ e $y \equiv \Delta L$). Conforme a Eq. 2, o gráfico deve ser uma reta passando pela origem com coeficiente angular $a = \alpha L$. Obter o valor preliminar de a .
- Montar tabela com valores de x_i , y_i e σ_i . As incertezas em x devem ser transferidas para y conforme procedimento da Seção 11.3 da Apostila de Erros (pg. 61).
- Ajustar reta aos pontos experimentais (x_i, y_i, σ_i), determinando a e σ_a . Fazer o gráfico de $y \times x$ e da reta ajustada. Calcular α e respectiva incerteza.
- Comparar α com valores obtidos em manuais (ou internet). Discutir a experiência e resultados.

