

*Jorge Roberto Pimentel*  
*Alberto Ibañez Ruiz*  
Depto de Física – UNESP  
Rio Claro – SP

## **I. Introdução**

Os efeitos da dilatação térmica sobre os materiais despertam o interesse de nossos alunos, uma vez que são fenômenos com os quais eles convivem quase diariamente.

Nos sólidos, por exemplo, o coeficiente de dilatação linear (característico de cada sólido) permite relacionar variações de comprimento com mudanças de temperatura.

A dilatação de um sólido, através do aumento de sua temperatura, pode ser explicada pelo aumento na agitação de seus átomos, a partir da posição de equilíbrio; eles afastam-se cada vez mais desta, em função da energia recebida. Em consequência, a distância média entre os átomos aumenta, aumentando assim as dimensões do corpo.

Essas variações, entretanto, são muito pequenas, de modo que se torna praticamente impossível, numa aula experimental, medi-las diretamente. Uma das maneiras de superar essa dificuldade é **ampliar** o efeito, medindo as variações indiretamente.

Neste artigo apresentamos uma alternativa, desenvolvida com material caseiro, para um método já consagrado<sup>(1)</sup>, de determinação do coeficiente de dilatação linear.

## **II. Material e método**

A montagem didática, tradicionalmente proposta para a determinação de coeficientes de dilatação linear de sólidos<sup>(1,2)</sup>, tem, a nosso ver, três inconvenientes:

1. Necessita de materiais frágeis e nem sempre disponível em nossas escolas, tais como bicos de gás, tubos de ensaio, pinças, prendedores, tubos de vidro e látex.

2. O tubo de ensaio (usado para a produção de vapor) pode quebrar em função do abrupto aumento da temperatura provocado pela completa evaporação da água nele contida.

3. Não permite, sem riscos, o reabastecimento de água, nem a fácil repetição do experimento, numa mesma aula.

Os componentes da montagem que propomos são descritos a seguir.

## II.1 Recipiente de aquecimento para produção de vapor

### Material:

- Uma lata de refrigerante ou cerveja.
- Um tubo de alumínio com 5 cm de comprimento (tipo antena de TV).
- Cola Durepox ou similar.

### Montagem:

Introduza o tubinho na abertura existente na lata, deixando-o inclinado (Fig. 1).

Fixe-o com Durepox (para facilitar o manuseio e a moldagem, umedeça a massa de Durepox). Verifique se o tubinho não ficou entupido pelo adesivo e se há algum vazamento perceptível. Aguarde o endurecimento do adesivo, antes de usar o recipiente.

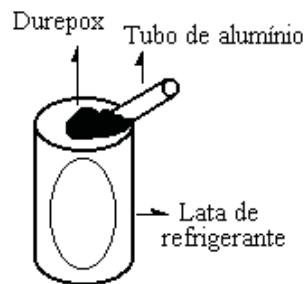


Fig. 1

## II.2 Fonte de calor

### Material:

- Um vidro de 100 ml (por exemplo, de xarope).
- Um tubo de alumínio com 3 cm de comprimento (tipo antena de TV).
- Uma arruela metálica de 1"
- 1 m de barbante grosso.
- Álcool.

### Montagem:

Prepare o orifício da arruela, de modo que o tubinho entre nele justo. Introduza-o até a metade. Dobre o barbante várias vezes, passando-o pelo interior do tubinho, para formar um pavio.

Abasteça o vidro com álcool, até pouco mais da metade. Mergulhe o pavio, aguardando alguns instantes até o álcool umedecê-lo.

A manipulação dessa fonte de calor (Fig. 2) exige cuidados. Os alunos devem ser orientados para afastarem-se rapidamente do local, no caso de queda acidental da mesma, e não tentar apagar o fogo (essa tarefa deve ficar a cargo do professor).

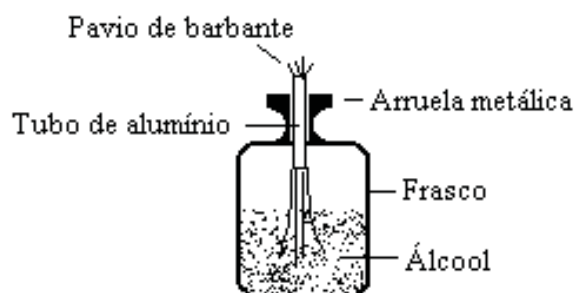


Fig. 2

## II.3 Suporte

### Material:

- Uma base de madeira sólida (15 cm x 12 cm x 4 cm).
- Um sarrafinho (30 cm x 1,5 cm x 1,5 cm).
- Arame fino (2 pedaços de 30 cm cada).

- Dois pregos.

**Montagem:**

Pregue o sarrafinho, lateralmente, na base de madeira. Prenda, firmemente, nessa haste, a lata de refrigerante, com auxílio dos arames (Fig. 3). Verifique a altura, de modo que seja possível a colocação da fonte de calor sob a lata.

OBS.: É conveniente abastecer a lata até sua metade, com água, antes de fixá-la no suporte.

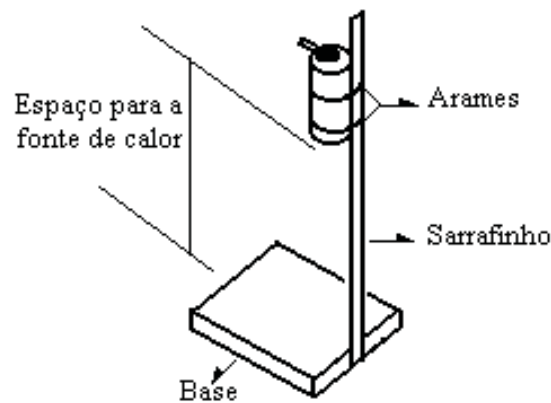


Fig. 3

**II.4. Conjunto de dilatação**

**Material:**

- Um tubo de alumínio, com 40 cm de comprimento (tipo antena de TV).
- Um sarrafo (45 cm x 4 cm x 2 cm).
- Mangueira plástica de 1/4" (60 cm).
- Dois percevejos.
- Um pedacinho de vidro (lâmina de microscópio, por exemplo).
- Uma xerocópia de transferidor.
- Um pedaço de cartolina (15 cm x 10 cm).
- Arame ou fio de cobre grosso (6 cm).

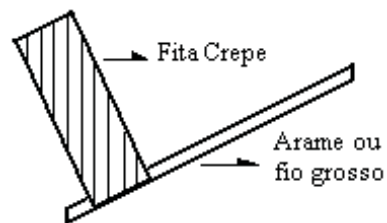
- Fita crepe.
- Um termômetro químico.
- Um alicate comum.

**Montagem:**

Cole a xerocópia do transferidor no pedaço de cartolina e recorte-a.

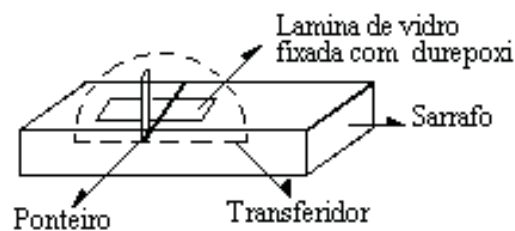
Lateralmente (e próximo a uma das extremidades) no sarrafo fixe a xerocópia, colando-a.

Prepare um ponteiro, fixando um pedaço de fita crepe na extremidade do arame grosso (Fig. 4).



*Fig. 4*

Perfure a xerocópia do transferidor, na origem, e instale o ponteiro de modo que ele possa girar livremente. Este por sua vez deverá apoiar-se, conforme se vê na Fig. 5, sobre o pedacinho de vidro (colocando entre a superfície do sarrafo e ele).



*Fig. 5*

Na extremidade oposta do sarrafo, prenda dois percevejos, levemente sobrepostos, de forma que sobressaiam à superfície do sarrafo (Fig. 6).

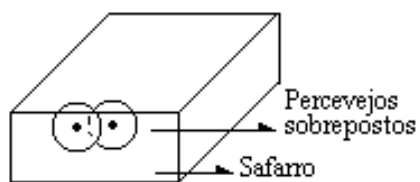


Fig. 6

Continuando, faça um sulco no tubo de alumínio, a dois centímetros de uma de suas extremidades (Fig. 7). Este sulco pode ser obtido prendendo-se o tubo com a parte cortante de um alicate (mantido sob ligeira pressão), enquanto o tubo é girado várias vezes.

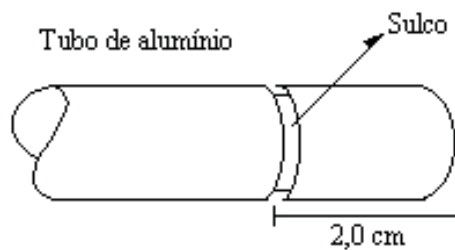


Fig. 7

Coloque o tubo no sarrafo, encaixando o sulco nos percevejos e fixando-o com um elástico (fig. 8).

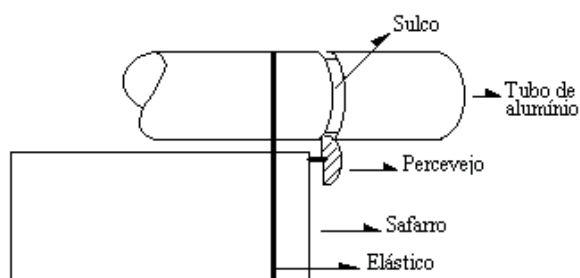


Fig. 8

### Atenção

É importante que o encaixe sulco/percevejos se mantenha durante todo o experimento, sem que os resultados não serão confiáveis.

Fixe, com elástico, a outra extremidade do tubo de alumínio no sarrafo.

Finalmente interligue, por meio da mangueira plástica, a extremidade sulcada do tubo de alumínio com o recipiente de vapor e posicione a fonte de calor, conforme mostra a fotografia do equipamento.

### III. Utilização do equipamento

A utilização do equipamento segue o procedimento didático usual. Ele consiste no aquecimento de um tubo, com vapor de água, provocando sua dilatação. Uma das extremidades do tubo é mantida fixa, enquanto que, sobre a outra, se encontra um ponteiro cilíndrico, associado a uma escala angular.

A dilatação sofrida pelo tubo é transferida ao ponteiro, mediante um movimento combinado de rotação e translação. Após um certo tempo aquecido pelo vapor, o tubo sofre sua dilatação máxima. Isso é acompanhado na escala angular, até a deflexão máxima do ponteiro, ocasião em que esse valor deve ser registrado pelo aluno.

Medindo-se:

1. O valor do comprimento inicial do tubo  $L_0$  (desde o ponto de fixação até o ponto em que está colocado o ponteiro e não o valor entre suas extremidades);

2. o diâmetro do ponteiro utilizado,  $D$  (utilizando, por exemplo, um paquímetro);

3. a variação de temperatura,  $\Delta T$ , a que foi submetido o tubo (diferença entre a temperatura inicial e final no interior da extremidade livre do tubo);

4. o ângulo máximo de deflexão do ponteiro,  $\theta$ , é possível determinar o coeficiente de dilatação linear  $\alpha$  do material do tubo, usando a expressão:

$$\alpha = \frac{\pi D \theta}{180^\circ L_0 \Delta T},$$

conforme se demonstra no apêndice deste artigo.

Em nossos experimentos, temos usado, para determinação dos coeficientes de dilatação linear, tubos de alumínio (tipo antena de TV) e tubos

comerciais de latão (diâmetro de 5/16”). Nessas determinações temos encontrado os seguintes resultados:

$$\alpha(\text{Alumínio}) = 23 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

e

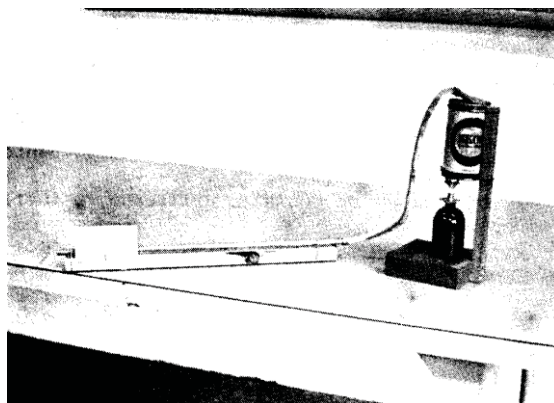
$$\alpha(\text{Latão}) = 19 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

Mantendo-se os mesmos tubos, os resultados têm sido repetitivos.

#### IV. Conclusão

Devido às características de construção, o equipamento permite que, em uma mesma aula, sejam feitos mais de um experimento. Podem ser medidos coeficientes de dilatação de materiais diferentes, bem como repetir medidas, se necessário. Ele tem mostrado ser bastante resistente e pode ser guardado montado, sem que isso cause problemas futuros para o seu manuseio.

A fotografia a seguir mostra o equipamento descrito.



#### V. Referências Bibliográficas

1. FUNBEC. Manual de experiências físicas, São Paulo: EDART, v.1: p.60-64, 1966.
2. Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas: Subsídios para a implantação



da proposta curricular de física para o segundo grau: termologia. São Paulo, Secretaria da Educação, FUNBEC, 1979.

3. RESNICK, R.; HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984. v. 2, p. 176.

## Apêndice

### Dilatação linear

Uma barra de comprimento inicial  $L_0$ , submetida a um aumento de temperatura  $\Delta T$ , sofre uma dilatação  $\Delta L$ , que é proporcional a  $L_0$  e  $\Delta T$ .

A constante de proporcionalidade é o chamado coeficiente de dilatação linear ( $\alpha$ ), e a expressão para a dilatação se escreve:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T. \quad (1)$$

O valor de  $\alpha$  é característico de cada material e sua dimensão é a do inverso da temperatura.

Valores de  $\alpha$  para alguns materiais são listados, a seguir, como referência<sup>(2)</sup>:

<i>Aço</i>	$11 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<i>Alumínio</i>	$23 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<i>Latão</i>	$19 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
<i>Cobre</i>	$17 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Nesta atividade, devido às pequenas dimensões lineares envolvidas, não será possível observar diretamente um aumento apreciável na dilatação dos corpos. Lançaremos mão de um processo indireto de leitura, através do ângulo que um ponteiro marca ao ser empurrado pelo tubo, quando este se dilata.

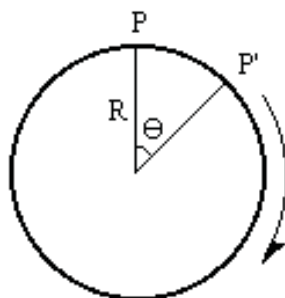
No início, uma das extremidades do tubo está fixa e a outra se apóia sobre o eixo do ponteiro, que marca  $0^\circ$  no transferidor. Com a dilatação do tubo, ocorre a rotação do eixo do ponteiro, juntamente com a translação de sua posição inicial.

O ponteiro marcará um ângulo  $\theta$  no transferidor.

A dilatação do tubo dera igual ao valor do perímetro, descrito pelo eixo do ponteiro, quando sofre um rotação de um ângulo  $\theta$ , mais uma translação igual à distância entre a posição inicial e final dele.

Vamos analisar o movimento do eixo do ponteiro, decompondo-o em:

### 1. Rotação



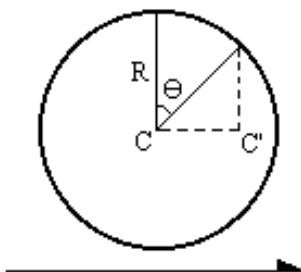
O ponto P gira, indo para P', descrevendo um ângulo  $\theta$ . O raio do eixo do ponteiro é representado por R.

O comprimento do arco P P' será  $R \theta$  ( $\theta$  em radianos).

Este mesmo comprimento, com  $\theta$  em graus, será:

$$\overline{PP'} = \frac{2\pi R\theta}{360^\circ}.$$

### 2. Translação



O centro do eixo translada-se de C para C', sendo a distância  $\overline{CC'}$ , para pequenos ângulos, expressa como:

$$\overline{CC'} = \frac{2\pi R\theta}{360^\circ} \quad (2)$$

O movimento total do eixo do ponteiro (rotação + translação) é, portan-

to:

$$2 \frac{2\pi R\theta}{360^\circ}. \quad (3)$$

Esse movimento é equivalente à dilatação do material, o que nos permite escrever a equação (1) como:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T = 2 \frac{2\pi R\theta}{360^\circ} \quad (4)$$

O coeficiente de dilatação linear,  $\alpha$ , pode ser expresso, então, da seguinte forma:

$$\alpha = \frac{\pi D\theta}{180^\circ L_0 \Delta T},$$

no qual

$D$  = diâmetro do eixo do ponteiro (em cm),

$\theta$  = ângulo de deflexão do ponteiro (em graus)

$L_0$  = comprimento inicial do tubo, medido desde a extremidade fixa (sulco) até o ponto de apoio do ponteiro (em cm),

$\Delta T$  = variação da temperatura do tubo, medida no interior da extremidade livre do tubo.