

DILATÔMETRO LINEAR

FRANCISCO G. BRAGHINI¹, GUILHERME N. PRATA²

¹Graduando em Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, PIVICT, IFSP, Campus Catanduva.

² Professor de Ensino Médio e Superior, Técnico e Tecnológico, IFSP, Campus Catanduva.

Área do conhecimento: 1.05.01.00-2

Apresentado no

10º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP

27 e 28 de novembro de 2019- Sorocaba-SP, Brasil

RESUMO: A dilatação térmica é um fenômeno amplamente conhecido e bastante presente no cotidiano em diversas situações. Fisicamente, a variação de temperatura experimentada por um objeto frequentemente implica uma variação do grau de agitação térmica das partículas que compõem tal objeto. Consequentemente, alterações no espaçamento interatômico médio ocorrem e isso, por sua vez, acaba gerando a alteração das dimensões macroscópicas desse objeto. Nesse trabalho desenvolvemos um dilatômetro linear, um aparato experimental não-eletrônico por meio do qual é possível determinar o coeficiente de dilatação térmica linear de materiais metálicos. No aparato, um tubo metálico é fixado sobre uma base de apoio e submetido à passagem de vapor de água. O vapor aquece o tubo e provoca uma dilatação, detectada por um relógio comparador. Os coeficientes de dilatação linear determinados mostraram boa concordância com valores de referência na literatura. A construção do dilatômetro integrou um projeto institucional desenvolvido no IFSP – Campus Catanduva que desenvolveu conjuntos didáticos para o Laboratório de Física seguindo a matriz curricular do curso de Engenharia de Controle e Automação. Atualmente, o dilatômetro já está sendo utilizado nas disciplinas de Física e Laboratório de Física.

PALAVRAS-CHAVE: dilatação térmica; coeficiente de dilatação linear; dilatômetro.

LINEAR DILATOMETER

ABSTRACT: Thermal expansion is a widely known phenomenon and quite present in everyday life in many situations. Physically, the temperature variation experienced by an object often imply a variation in the degree of thermal agitation of the particles which form such an object. Consequently, changes in average interatomic spacing occurs and this, in turn, leads to the alteration of macroscopic dimensions of this object. In this work we developed a linear dilatometer, a non-electronic experimental apparatus by which it is possible to determine the coefficient of linear thermal expansion for some metallic materials. In the apparatus, a metal pipe is fixed over a support base and subjected to the passing of water steam. The vapor heats the pipe and causes a dilation which is detected by a dial indicator. The found coefficients show good agreement with reference values in literature. The construction of dilatometer was part of institutional project developed at the Federal Institute of Education, Science and Technology of São Paulo – Campus Catanduva. This project developed teaching kits for Physics Laboratory in according to course curriculum of the Automation and Control Engineering course. Currently, the dilatometer is already being used in Physics and Physics Laboratory disciplines.

KEYWORDS: thermal expansion; linear thermal expansion coefficient; dilatometer.

INTRODUÇÃO

Segundo Nussenzveig (2014), a dilatação térmica é um fenômeno físico que consiste em um aumento ou diminuição no espaçamento da estrutura microscópica de um corpo sólido quando esse é submetido a uma mudança significativa de temperatura. De acordo com Young e Freedman (2008), com essa mudança a nível microscópico também há a mudança em todas as três dimensões desse corpo. Contudo, em diversas circunstâncias, os objetos apresentam uma dilatação significativa em uma dimensão, como cabos, fios e tubos. O aparato tem como objetivo analisar a dilatação em somente uma dimensão

O equacionamento para a obtenção do coeficiente de dilatação linear é representado na Equação (1), de acordo com Young e Freedman (2008).

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} \quad (1)$$

em que,

α – coeficiente de dilatação linear do material, °C⁻¹;

ΔL – variação do comprimento da barra, mm;

L_0 – comprimento inicial da barra, mm;

ΔT – variação da temperatura no interior da barra, °C.

No presente experimento, por meio de um dilatômetro não-eletrônico, analisou-se a dilatação de tubos metálicos de diversos materiais e como ela se comportava em cada um dos materiais, equacionando, analisando-se dados e os possíveis erros que podem provir da análise.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a construção da base do dilatômetro, foram utilizados:

- 01 base de madeira MDF de 810 x 256 x 12 mm
- 01 par de suportes de madeira MDF de 90,75 x 31,25 x 12,7 mm
- 01 um par de suportes de madeira de 30,8 x 30,8 x 6 mm
- 04 calços de base de 28,5 mm de diâmetro
- 01 chapa metálica de 243 x 191 x 3,2 mm
- 01 tubo de latão com diâmetro externo de 8 mm e comprimento de 500 mm
- 01 tubo de aço inoxidável com diâmetro externo de 8 mm e comprimento de 500 mm
- 01 tubo de alumínio de diâmetro externo de 9,5 mm e comprimento de 478 mm
- 01 peça de nylon de 120 x 15,3 x 20 mm
- 01 parafuso Allen M8
- 06 parafusos Allen M5
- 02 discos de nylon com diâmetro externo de 39,8 mm, diâmetro interno de 20 mm e espessura de 19,9 mm.

Além desses materiais, foram utilizados instrumentos comumente utilizados em laboratórios de metrologia ou laboratórios industriais (relógio comparador) e em laboratórios de química (kitasato, rolha de frasco, mangueira, suporte de vidrarias, tela de amianto, vidro de relógio, termômetro e bico de Bunsen).

Para efetuar o experimento, foram aplicados os tubos metálicos (um por vez) no dilatômetro de modo que uma peça de nylon seja acoplada ao tubo e encostada na ponta de contato do relógio

comparador. Um kitasato parcialmente preenchido com água, submetido a aquecimento (com auxílio de um bico de Bunsen, tela de amianto e suporte para tela) e tampado com a rolha é acoplado a uma mangueira e essa, por sua vez, a uma das extremidades do tubo metálico. Devido ao aquecimento, o vapor de água formado flui pela mangueira, chegando ao tubo metálico e sua passagem pelo interior desse tubo faz com que ele seja aquecido e sofra uma dilatação. Com a dilatação do tubo, a peça de nylon, presa ao tubo, desloca-se e empurra a ponta do relógio comparador, permitindo a medida da dilatação linear total (ΔL). Na outra extremidade do tubo metálico, o vapor de água é condensado e a água é coletada em um pequeno recipiente (vidro de relógio). Utilizando uma régua (ou trena) para obter o comprimento inicial (L_0) do tubo e um termômetro colocado na extremidade livre do tubo para inferir a variação de temperatura (ΔT) do tubo é possível determinar a constante de dilatação linear (α) do metal que constitui o tubo.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2010), o coeficiente de dilatação é um parâmetro que quantifica a capacidade de dilatação linear de um material, variando ligeiramente de acordo com a temperatura. É importante ressaltar que, embora o trabalho proposto trate de dilatação linear, é possível obter os coeficientes de dilatação superficial e volumétrica a partir do coeficiente de dilatação linear de um material.

O coeficiente de dilatação linear do tubo é obtido monitorando o resfriamento do tubo. À medida que o tubo é aquecido pelo vapor d'água que o atravessa, a temperatura indicada pelo termômetro aumenta assim como a dilatação indicada pelo relógio comparador. Entretanto, a indicação de aumento da temperatura não ocorre simultaneamente ao aumento da dilatação. Quando o termômetro indica temperaturas próximas de 90 °C, pequenos jatos de vapor devem sair do tubo e, a partir desse instante, o Bico de Bunsen deve ser desligado. Com a produção de vapor d'água interrompida, começa a ocorrer o resfriamento do tubo e a temperatura indicada no termômetro diminui junto das medidas de dilatação indicadas no relógio comparador. A premissa para a utilização do resfriamento é a de que, durante o resfriamento, espera-se que o gás no interior do tubo e o material do tubo tenham entrado em equilíbrio térmico.

Teoricamente, a dilatação de cada um dos tubos diferencia-se por conta de apresentarem diferentes coeficientes de dilatação e, segundo Borgnakke e Sonntag (2018), o coeficiente de dilatação linear de um corpo tende a ser maior quanto maior é sua capacidade de condução, sendo a última proporcional à capacidade de um objeto transferir energia (se é um bom ou mau condutor de energia) e à variação de temperatura, ou seja, o coeficiente é maior quanto maior é a tendência de conduzir calor do material. Essa correlação entre condutividade e dilatação é o motivo pelo qual optou-se o uso de materiais metálicos para o experimento, já que esses dilatam significativamente em relação a outros tipos de materiais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 mostra a dilatação térmica (ΔL) em função da variação de temperatura (ΔT) experimentada por cada tubo metálico.

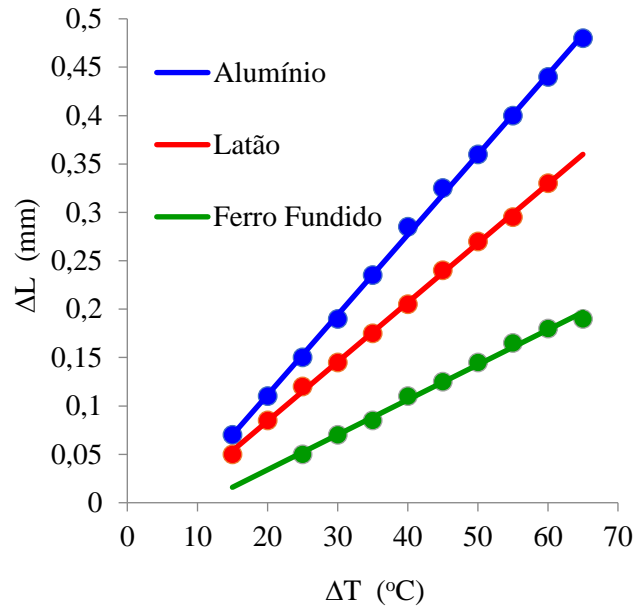


FIGURA 1: Variação do comprimento (ΔL) em função da variação de temperatura (ΔT) experimentada por cada tubo metálico. As linhas contínuas representam os ajustes lineares realizados em cada caso. Os coeficientes de dilatação linear de cada material podem ser determinados a partir dos coeficientes angulares de cada ajuste.

Considerando a Equação (1), o coeficiente de dilatação linear (α) pode ser determinado a partir do coeficiente angular de um gráfico $\Delta L \times \Delta T$:

$$\alpha = \frac{\text{coef. angular}}{L_0} \quad (2)$$

Os coeficientes de dilatação linear de cada material estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1: Valores experimentais dos coeficientes de dilatação linear de alumínio, latão e ferro fundido comparados aos respectivos valores de referência (Halliday, 2016; Davis, 1998).

	$\alpha_{\text{EXP}} (10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$	$\alpha_{\text{TEOR}} (10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$	Erro (%)
Alumínio	$25,2 \pm 0,3$	23,6	6,9%
Latão	$18,3 \pm 0,2$	19	1,6%
Ferro Fundido	$11,0 \pm 0,3$	10,5	5,1%

Os valores determinados apresentam boa concordância com valores da literatura. As discrepâncias podem ter sua origem em vários fatores, além daqueles relacionados à vibrações, folgas, imperícia e imprudência no manuseio e falhas nos instrumentos de medida.

O primeiro fator que pode ser considerado é a incerteza quanto à composição dos materiais analisados. No caso do alumínio, há a possibilidade do material analisado ser uma liga e também a possibilidade desse material não possuir alto grau de pureza. No caso das amostras de latão e de ferro fundido, são desconhecidas as especificações técnicas acerca da composição das ligas.

Um segundo fator é a possibilidade de que o tubo e a ponta do relógio comparador não estejam perfeitamente alinhados. Esse é um aspecto fundamental no manuseio do dilatômetro porque é o relógio

comparador que obtém as medidas que exigem a maior exatidão e precisão possíveis e qualquer descuido no alinhamento produzirá grandes discrepâncias.

Outro fator a ser cogitado é o próprio modo de obtenção da temperatura dos tubos. Os valores de temperatura indicados pelo termômetro são considerados na análise partindo das premissas de que o gás e o tubo estão em equilíbrio térmico e de que a temperatura aferida corresponde não somente à temperatura do tubo nas imediações do sensor térmico como também à temperatura de todo ponto restante do tubo metálico. Contudo, uma vez que o tubo metálico consiste em um sistema aberto e atravessado pelo vapor d'água, é provável que a distribuição de temperatura ao longo do tubo não seja homogênea.

Há ainda outros fatores como, por exemplo, a condensação de água dentro do tubo durante o resfriamento e o fato de os diâmetros dos tubos não serem rigorosamente iguais, que podem interferir na análise e que exigem análises mais detalhadas sobre o real impacto desses fatores na determinação dos coeficientes de dilatação linear.

CONCLUSÃO

O dilatômetro linear construído permite determinar os coeficientes de dilatação de alguns materiais metálicos com boa concordância com valores referenciados na literatura especializada. Apesar do bom desempenho, a montagem do dilatômetro pode melhorar em diversos aspectos. Um aspecto que certamente merece atenção é o alinhamento do relógio comparador. No aparato construído, o alinhamento depende de um manuseio extremamente cuidadoso, o que nem sempre é garantido e que pode ser um fator determinante para a geração de erros. No sentido de minimizar erros causados por alinhamento manual e também no sentido de minimizar danos ao relógio comparador, sugere-se uma espécie de compartimento, construído sobre a própria base, dentro do qual o relógio comparador pode ser colocado em uma orientação paralela ao tubo.

De qualquer modo, a capacidade de obter dados em concordância com a literatura bem como a ampla discussão acerca das fontes de erros credenciam o dilatômetro a fazer parte do conjunto de aparatos experimentais disponibilizados aos estudantes do IFSP – Catanduva, cumprindo, assim, o objetivo de ser utilizado para fins didáticos no ensino de Física.

REFERÊNCIAS

- BORGNACKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica**. 8ª ed. São Paulo: Blucher, 2018.
- DAVIS, J. R. **Metals Handbook Desk Edition**. 2ª ed. ASM Internacional Handbook Committee, 1998.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da Física**. 10 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica 2: Ondas, Oscilações e Ondas, Calor**. 5 ed. São Paulo: Blucher, 2014.
- YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: Termodinâmica e Ondas**. 12 ed. São Paulo: Pearson Education, 2008.