

DOI: <https://doi.org/10.36470/famen.2026.r7a83>

Recebido em: 06/09/2026

Aceito em: 22/10/2026

DILATÔMETRO LINEAR DE BAIXO CUSTO: UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE EXPANSÃO TÉRMICA DE SÓLIDOS

LOW-COST LINEAR DILATOMETER: A DIDACTIC PROPOSAL FOR TEACHING THERMAL EXPANSION OF SOLIDS

Murilo Albuquerque de Carvalho da Silva

Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-2952-7613>

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/5180541180169755>

Licenciatura em Física

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, Brasil

E-mail: Murilo.albuquerque2021@gmail.com

Gabriel Lucas Dantas da Rocha Vilela

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-0746-8027>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4447248725664816>

Licenciatura em Física

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, Brasil

E-mail: vilelagabriel339@gmail.com

Melquisedec Lourenço da Silva

Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-0567-4605>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6674115023139208>

Doutor em Física

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, Brasil

E-mail: melquisedec.silva@ifrn.edu.br

RESUMO

Este trabalho apresenta a construção e a aplicação de um dilatômetro linear de baixo custo como proposta didática para o ensino da expansão térmica de sólidos e da Termodinâmica. O aparato foi desenvolvido com materiais de fácil aquisição, utilizando uma haste de alumínio, estrutura de madeira, velas como fonte térmica, termopares e um sistema de medição indireta baseado no deslocamento de um ponteiro. A proposta fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa e busca aproximar os conceitos teóricos da experiência prática, especialmente em contextos escolares com recursos laboratoriais limitados. Foram realizados testes experimentais com diferentes configurações de aquecimento, utilizando diferentes números de velas, além de medições de temperatura em pontos distintos da haste para obtenção de uma temperatura média. Os dados de dilatação linear foram relacionados à variação de temperatura e analisados por meio de ajustes lineares pelo método dos mínimos quadrados. Os coeficientes de dilatação obtidos tiveram boa aproximação do valor teórico considerado para o alumínio, $24,0 \times 10^{-6}$

$^{\circ}\text{C}^{-1}$. Os resultados indicam que o aparato apresenta viabilidade experimental e didática, possibilitando a abordagem investigativa de conceitos térmicos e demonstrando que materiais de baixo custo podem contribuir para a democratização da experimentação no ensino de Física.

Palavras-chaves: Dilatômetro; expansão térmica; física experimental; aprendizagem significativa.

ABSTRACT

This work presents the construction and application of a low-cost linear dilatometer as a didactic proposal for teaching the thermal expansion of solids and thermodynamics. The apparatus was developed using readily available materials, including an aluminum rod, a wooden structure, candles as a heat source, thermocouples, and an indirect measurement system based on pointer displacement. The proposal is grounded in the Theory of Meaningful Learning and seeks to connect theoretical concepts with practical experience, particularly in school contexts with limited laboratory resources. Experimental tests were conducted using different heating configurations with varying numbers of candles, as well as temperature measurements at different points along the rod to obtain an average temperature. The linear expansion data were related to temperature variation and analyzed through linear fitting using the least squares method. The expansion coefficients obtained showed good agreement with the theoretical value considered for aluminum, $24.0 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. The results indicate that the apparatus is experimentally and pedagogically feasible, enabling an investigative approach to thermal concepts and demonstrating that low-cost materials can contribute to the democratization of experimentation in physics education.

Keywords: Dilatometer; thermal expansion; experimental physics; meaningful Learning.

1 INTRODUÇÃO

A ciência Física é intrinsecamente experimental. Para que o aprendizado ocorra de forma plena, o estudante precisa não apenas manipular fórmulas, mas interagir com o fenômeno. Como apontam Alves Filho (2000) e Carvalho *et al.* (2010), o laboratório didático é o espaço de transposição onde a teoria ganha materialidade. No entanto, a realidade de muitas escolas brasileiras, especialmente na rede pública de ensino, é a carência de equipamentos, o que torna o ensino de Termodinâmica um desafio puramente abstrato. Este trabalho propõe romper com a barreira da abstração através da construção de um dilatômetro linear artesanal. A escolha pelo desenvolvimento deste equipamento surgiu justamente a partir da constatação da escassez de recursos laboratoriais, buscando unir o rigor científico à acessibilidade material para as salas de aula.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 2000) reforçam que o estudo da Física deve transcender a memorização, promovendo a observação de fenômenos naturais e de aplicações tecnológicas presentes no cotidiano. Surge assim, a necessidade de desenvolver aparatos experimentais simples e acessíveis, capazes de estabelecer uma relação direta entre o conteúdo teórico e o contexto de vida do estudante. Este projeto nasceu da experiência prática como licenciando no Programa de Educação Tutorial (PET) e Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID) do IFRN Campus Natal-Central. O desafio era desenvolver uma ferramenta didática de baixo custo que pudesse ser replicada por professores para facilitar o ensino-aprendizagem de Física. A viabilidade técnica do aparato apresentado no presente trabalho foi validada cientificamente durante o Encontro Potiguar de Física (EPF), e seu desenvolvimento visa oferecer uma ponte sólida entre o conhecimento empírico do aluno e o saber científico formal.

1.1 OBJETIVOS

Objetivo Geral: Apresentar a construção e a aplicação de um dilatômetro linear de baixo custo, analisando sua viabilidade didática para o ensino de Termodinâmica fundamentado na Teoria da Aprendizagem Significativa.

Objetivos Específicos:

- Construir um aparato experimental portátil, estável e seguro utilizando materiais de fácil acesso;
- Validar o protótipo através da determinação empírica do coeficiente de dilatação do alumínio sob diferentes intensidades térmicas;
- Elaborar e sugerir uma sequência didática investigativa para aplicação em sala de aula, promovendo a participação ativa dos alunos.

2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO ENSINO DE FÍSICA

A utilização de experimentos de baixo custo apresentada neste trabalho, fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (2003). Para que o ensino de Termodinâmica não se restrinja à memorização de algoritmos, é necessário que o novo conhecimento se conecte de forma substantiva a conceitos subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Neste trabalho, é proposto um dilatômetro para atuar como um organizador prévio, servindo de ponte entre a percepção sensorial do calor e a compreensão científica da expansão da matéria.

2.1 DILATAÇÃO TÉRMICA

Para compreender a dilatação térmica de um sólido, é necessário analisar o comportamento das partículas que o compõem. Em um cristal metálico, como o alumínio, os átomos estão organizados em uma rede cristalina. Devido à assimetria da curva de energia potencial Inter atômica, o aumento da temperatura provoca vibrações com maiores amplitudes. Macroscopicamente, isso manifesta-se como um aumento nas dimensões externas do corpo, pois o ponto médio de oscilação dos átomos afasta-se da posição de equilíbrio original.

Considerando uma barra sólida de comprimento inicial L_0 , experimentalmente, observa-se que a variação no comprimento (ΔL), depende diretamente da variação de temperatura (ΔT) sofrida. Explicitamente, a equação da dilatação linear de sólidos pode ser escrita como (Gaspar, 2009; Halliday; Resnick; Walker, 2016; Nussenzveig, 2018):

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

Nesta equação, α representa o coeficiente de dilatação linear, propriedade intrínseca do material.

Neste trabalho, a escolha da utilização de uma haste de alumínio justifica-se por seu coeficiente de dilatação elevado ($\alpha = 24 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) (Young; Freedman, 2016), o que permite uma variação de comprimento maior, para aumentos de temperaturas, obtidos com fontes de calor simples (como velas), permitindo uma melhor percepção do fenômeno. Além disso, por maior facilidade de aquisição.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente dispositivo para a análise do coeficiente de dilatação térmica linear consiste em uma estrutura construída em madeira que servirá de suporte para a amostra metálica a ser estudada. Neste caso, a variação de comprimento da amostra, ou seja, sua dilatação, é medida a partir de um conjunto formado por uma haste, estrategicamente fixada na coluna e de uma régua.

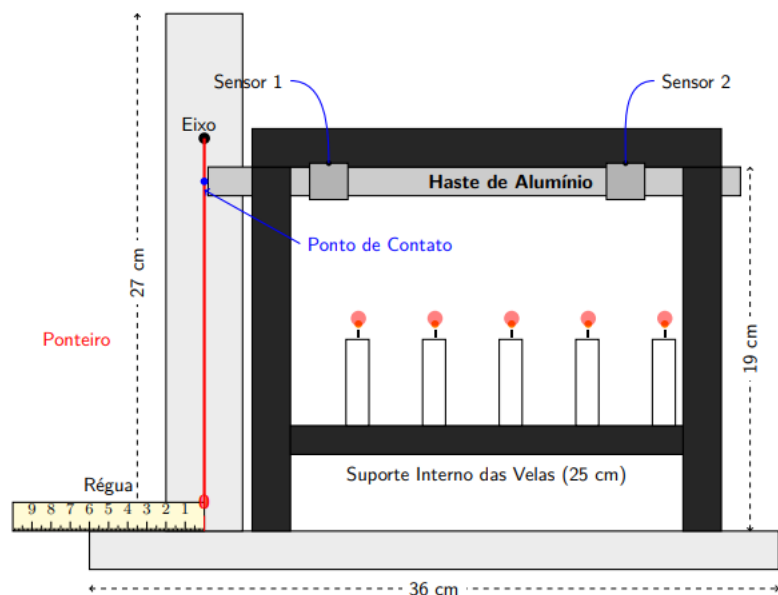
O aparato experimental, ilustrado na figura 1, foi idealizado priorizando materiais acessíveis, porém, sem deixar de garantir a estabilidade mecânica do conjunto. Suas partes contêm os seguintes componentes e sugestão de especificações de montagem:

- Base de Sustentação: Placa de madeira (compensado) projetada com 36×10 cm² de comprimento e 3 cm de espessura, selecionada por sua robustez e baixa condutividade térmica;
- Colunas de Fixação: Foram fixadas duas colunas (preta) de madeira verticais de 19 cm de altura em cada extremidade da região de aquecimento da base. Paralelamente a estas, instalou-se uma terceira coluna (cinza) vertical de 27 cm de altura, responsável por abrigar o sistema que medirá o deslocamento ΔL ;
- Suporte das Velas: Barra horizontal (preta) de madeira de 25 cm de comprimento, instalada entre as colunas verticais de 19 cm. A distância entre a base do aparato e essa barra deve ser ajustada rigorosamente de modo que as chamas das velas fiquem posicionadas logo abaixo da haste metálica;
- Amostra: Haste de alumínio comercial (antena de TV), introduzidas em um furo contido em cada uma das colunas pretas. A haste é fixada na coluna do lado direito por um parafuso e na coluna do lado esquerdo a haste fica livre para suportar a dilatação;
- Sistema de medição: Ponteiro metálico (vermelho) acoplado por uma de suas extremidades ao eixo da coluna. Na parte inferior da coluna, se encontra uma régua para medir a variação da posição do ponteiro, ΔX ;
- Fonte Térmica: Conjunto de velas equidistantes, proporcionando aquecimento gradual da haste de alumínio.

A medida da temperatura é realizada por intermédio de termopares. Foram colocados dois termopares nas posições identificadas na figura 1 como sensor 1 e sensor 2. Esta disposição

visava coletar a temperatura mais uniforme da haste através de uma média simples. O tempo de espera entre cada medida coletada pode ser estimado observando-se a estabilização da temperatura pelos termopares.

Figura 01 - Diagrama esquemático do dilatômetro mostrando a estrutura de montagem do aparato

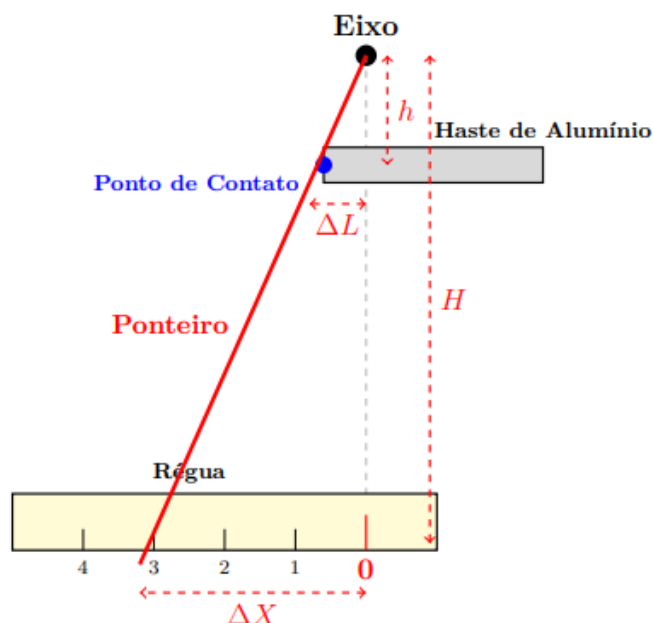


Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Foram realizados testes com diferentes configurações de distribuição de velas para obter o melhor resultado das medidas, como será discutido posteriormente. Todas as medidas foram realizadas após a amostra alcançar o equilíbrio térmico

A figura 2 apresenta um destaque para o sistema de medição da dilatação sofrida pela haste metálica utilizada. Como pode ser observado, esta haste está encostada no ponteiro, inicialmente colocado na posição vertical. O ponteiro, apresentado em vermelho na figura 2, é fixado na coluna de madeira de forma que lhe permita girar em torno do eixo. À medida que a haste se dilata, o ponteiro é empurrado para a esquerda.

Figura 02 - Destaque para o triângulo formado entre o eixo centralizado na coluna de medição, a régua e o ponteiro



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

O tamanho da dilatação térmica linear produzida na haste metálica no experimento é pequeno e difícil de se observar a olho nu. Desta forma, o sistema de medida foi construído para permitir uma medida indireta. Ao sofrer a dilatação térmica, a haste metálica irá empurrar o ponteiro fazendo com que ele sofra uma deflexão para a esquerda. Como pode ser visto na figura 2, nesse momento irá formar um triângulo entre o ponteiro, a régua e uma reta vertical sobre a coluna de madeira. A partir da semelhança de triângulos, relacionamos o deslocamento do ponteiro (Δx) medido sobre a régua com a dilatação térmica (ΔL) real da barra.

$$\frac{\Delta L}{h} = \frac{\Delta x}{H} \rightarrow \Delta L = \Delta x \frac{h}{H} \quad (2)$$

Assim, à medida que a temperatura da haste metálica aumenta, aumenta a dilatação e cresce o deslocamento Δx do ponteiro. Para cada valor de temperatura coletado no experimento, está associado um deslocamento Δx e usando a equação 2, é possível calcular as dilatações ΔL correspondentes.

3.1 PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Esta proposta visa apresentar uma sequência didática para a utilização de um dilatômetro para estimar o coeficiente de dilatação linear de metais. A ideia é apresentar construção de um dilatômetro utilizando materiais de fácil acesso e de manuseio simples que permita observar a dilatação térmica sofrida por metais quando aquecidos. A sequência foi organizada em três etapas investigativas estruturadas:

a) Introdução Teórica: Em um primeiro encontro, o professor atua como mediador, realizando a apresentação dos conceitos iniciais de dilatação térmica e fomentando discussões sobre onde esses fenômenos podem ser observados em aplicações cotidianas (como em trilhos de trem, em edificações de prédios e pontes, em termômetros etc.).

b) Execução Experimental: Em um segundo encontro, os alunos são apresentados ao dilatômetro onde o professor lhes explica o seu funcionamento. Os alunos são orientados a realizar a medição do comprimento inicial da haste metálica (L_0) com instrumentos simples e a registrar a temperatura ambiente (T_0) da sala. Em seguida, acende-se as velas para iniciar o aquecimento da haste metálica. Com isso, será possível observar o deslocamento do ponteiro do dilatômetro, devido à dilatação da haste metálica. Os alunos são orientados a coletar alguns valores do deslocamento ΔX do ponteiro correspondente aos valores de temperatura da haste, medidas através dos termopares. Estes valores são anotados em uma tabela para a posterior análise dos resultados.

c) Análise de Dados: A etapa final, que pode ser desenvolvida como atividade para casa, consiste na análise dos dados coletados na execução do experimento. Os estudantes devem realizar o cálculo da dilatação, ΔL , da haste metálica para cada Δx medido. A partir dos valores de ΔL e da variação da temperatura ΔT correspondente, produz-se um gráfico. É esperado que este gráfico se aproxime de uma reta, evidenciando o crescimento linear da haste metálica com a temperatura. A aproximação de uma reta para o conjunto de pontos (dispersão) é feita pelo método dos mínimos quadrados, que encontra a linha de melhor ajuste ($y = ax + b$) minimizando a soma dos quadrados das distâncias verticais entre os pontos e a reta. O coeficiente de dilatação térmico linear α da haste metálica é obtido através da constante a na equação da reta. Para finalizar a análise dos resultados, faz-se a comparação do coeficiente encontrado experimentalmente com os valores tabelados na literatura, discutindo as eventuais margens de erro.

Pedagogicamente, essa proposta de construção do dilatômetro e a estruturação apresentada estimula o desenvolvimento de habilidades experimentais, conecta a teoria à prática de forma investigativa e discute as inércias térmicas e a propagação do calor de forma muito mais palpável para alunos de escolas com poucos recursos laboratoriais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a finalidade de testar a reprodução e eficácia do dilatômetro apresentado neste trabalho, foi realizada uma série de testes que possibilitou a versão final do aparato experimental. Esta versão sugerida leva em consideração a facilidade de construção e manuseio que permite evidenciar o fenômeno da dilatação, bem como obter bons resultados para o coeficiente de dilatação do metal. Nos testes realizados, a temperatura de equilíbrio inicial T_0 considerada foi de 24°C .

A figura 3 mostra o dilatômetro construído para este trabalho, com base nas dimensões e materiais sugeridos no capítulo 3. Na imagem, podemos observar todas as partes descritas anteriormente.

Figura 3 - Fotografia do dilatômetro linear construído e em funcionamento



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

4.1 TESTE 01 - AQUECIMENTO COM 4 VELAS

Nos primeiros testes com o dilatômetro, usou-se apenas um termopar para medir a temperatura da haste de alumínio. Algumas velas foram utilizadas como fonte de calor para o aquecimento da haste. A tabela 1 a seguir exibe os dados medidos e calculados para um exemplo onde utilizou-se como fonte de aquecimento quatro velas e um único sensor de temperatura. Nos valores apresentados, $\Delta T = T - T_0$ é a variação de temperatura medida na haste em cada instante de temperatura. Nos valores apresentados, $\Delta T = T - T_0$ é a variação de temperatura medida na haste em cada instante.

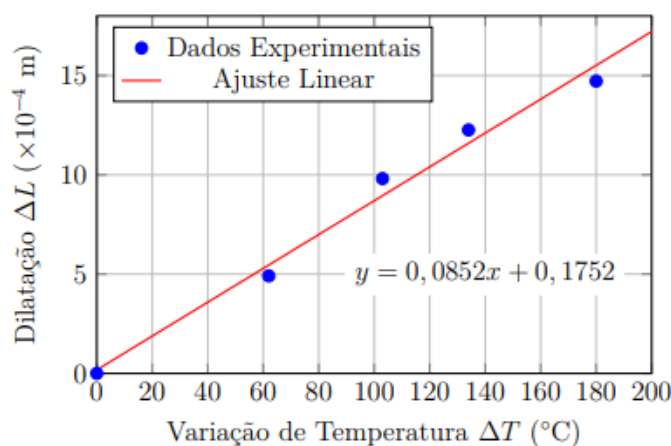
Tabela 1 - Valores medidos para o aquecimento da haste de alumínio com 4 velas

Δx (cm)	ΔT (°C)	ΔL ($\times 10^{-4}m$)
0	0	0
1,0	62	4,91
2,0	103	9,81
2,5	134	12,26
3,0	180	14,72

Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

O gráfico apresentado na figura 4, correspondente a esses dados, exibe uma dependência crescente da dilatação em função do aumento da temperatura da haste de alumínio. Porém, a equação da reta ajustada para esses pontos apresentou um desvio grande do valor esperado para o coeficiente de dilatação. Esse desvio é produzido, em partes, pela distribuição não uniforme da fonte de calor ao longo da haste.

Figura 4 - Gráfico da dilatação linear ΔL em função da variação de temperatura ΔT (Teste 01).



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

4.2 ANÁLISE MULTISSENSORIAL E TEMPERATURA MÉDIA

Para aprimorar a investigação sobre como o calor se distribui na haste de alumínio, adotou-se uma medição com múltiplos sensores: o Sensor 1 posicionado próximo de uma extremidade da haste e o Sensor 2 mais próximo da outra extremidade da haste, como pode ser visto na figura 1. Além disso, acrescentamos mais fontes de calor para aquecer a haste.

Para mitigar o efeito da flutuação da temperatura ao longo da haste de alumínio observado pelas perdas de calor, passou-se a considerar a Variação de Temperatura, a média das temperaturas nos dois sensores. Desta forma, usamos $\Delta T_m = (\Delta T_1 + \Delta T_2)/2$ para construir o gráfico e calcular o coeficiente de dilatação linear α .

4.2.1 TESTE 02 - AQUECIMENTO COM 5 VELAS

A tabela 2 exhibe as medidas realizadas quando consideremos um conjunto de 5 velas uniformemente distribuídas para aquecer a haste de alumínio. Observamos que a dilatação ΔL aumenta com o aumento da temperatura ΔT_m .

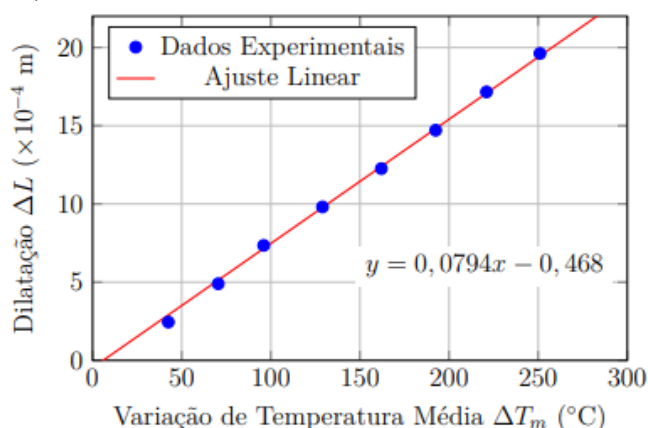
Tabela 2 - Valores medidos para o aquecimento da haste de alumínio com 5 velas

ΔX (cm)	ΔL ($\times 10^{-4}m$)	ΔT_1 ($^{\circ}C$)	ΔT_2 ($^{\circ}C$)	ΔT_m Média ($^{\circ}C$)
0,5	2,45	55	30	42,5
1,0	4,90	76	65	70,5
1,5	7,35	100	92	96,0
2,0	9,81	128	130	129,0
2,5	12,26	158	166	162,0
3,0	14,71	186	199	192,5
3,5	17,16	213	229	221,0
4,0	19,62	239	263	251,0

Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

O gráfico apresentado na figura 5 para o teste com 5 velas exibe um comportamento linear da dilatação em função do aumento da temperatura da haste de alumínio. A equação da reta ajustada para esses pontos está inserida na figura.

Figura 4 - Gráfico da dilatação linear ΔL em função da variação de temperatura ΔT_m (Teste 02)



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

4.2.2 TESTE 03 - AQUECIMENTO COM 6 VELAS

A tabela 3 exibe as medidas realizadas quando consideremos um conjunto de 6 velas uniformemente distribuídas para aquecer a haste de alumínio. Observamos que a dilatação ΔL aumenta com o aumento da temperatura ΔT_m .

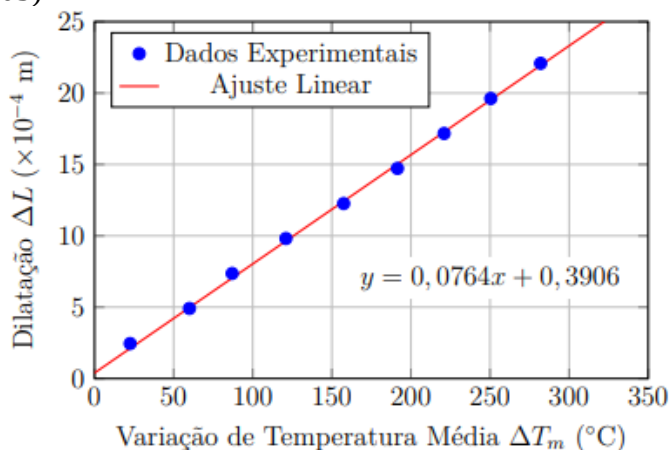
Tabela 3 - Valores medidos para o aquecimento da haste de alumínio com 6 velas.

ΔX (cm)	$\Delta L (\times 10^{-4}m)$	ΔT_1 ($^{\circ}C$)	ΔT_2 ($^{\circ}C$)	ΔT_m Média ($^{\circ}C$)
0,5	2,45	26	19	22,5
1,0	4,91	57	63	60,0
1,5	7,36	79	95	87,0
2,0	9,81	105	137	121,0
2,5	12,26	138	177	157,5
3,0	14,72	168	215	191,5
3,5	17,17	195	247	221,0
4,0	19,62	225	276	250,5
4,5	22,08	258	306	282,0

Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

O gráfico apresentado na figura 6 para o teste com 6 velas exibe um comportamento linear da dilatação em função do aumento da temperatura da haste de alumínio. A equação da reta ajustada para esses pontos está inserida na figura.

Figura 4 - Gráfico da dilatação linear ΔL em função da variação de temperatura ΔT_m (Teste 03)



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

4.3 MEDIDAS DO COEFICIENTE DE DILATAÇÃO

Através das medidas realizadas com o experimento, é possível determinarmos o coeficiente de dilatação, α , da haste metálica utilizada. Considerando a equação 1 temos que

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} \quad (3)$$

utilizando o programa Microsoft Excel, foi realizado o ajuste linear dos dados experimentais observados na seção anterior utilizando o método dos mínimos quadrados. A partir deste

procedimento e utilizando a equação 3 foram calculados os coeficientes de dilatação térmica linear de cada um dos testes realizados.

As figuras 4, 5 e 6 apresentam as equações das retas ($y = ax + b$) ajustadas as medidas realizadas. A constante a representa a inclinação da reta. Comparando estas equações de retas com a equação 1 da dilatação, é possível fazer $a = \alpha \cdot L_0$ e assim determinar o valor do coeficiente de dilatação, sendo $L_0 = 27,7$ cm. Nessa consideração, a constante b foi desprezada por ser da ordem de 10^{-5} m.

Os dados experimentais coletados nos testes realizados para uma haste de alumínio apresentaram um valor para o coeficiente de dilatação linear $\alpha_m = 30,8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para o teste 1, $\alpha_m = 28,7 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para o teste 2 e $\alpha_m = 27,6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para o teste 3. O valor teórico para o coeficiente de dilatação linear do alumínio é $\alpha_t = 24,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (Young; Freedman, 2016).

A comparação entre os valores dos coeficientes medidos nos testes com o valor teórico considerado, realizada através do cálculo do erro relativo

$$E\% = \frac{|\alpha_t - \alpha_m|}{\alpha_t} \quad (4)$$

apresentou 28,3%, 19,6% e 15,0% para o teste 1, para o teste 2 e para o teste 3, respectivamente. Esse erro reflete a imperícia do usuário ao realizar as medidas e a dificuldade intrínseca no experimento em controlar o fluxo de calor das velas para a haste, de forma uniforme.

É possível observar que o erro do experimento diminuiu à medida que melhoramos a distribuição de fontes de calor ao longo da haste metálica, com o aumento do número de velas, entre o teste 1 e o teste 3. Além disso, a realização das medidas com mais de um sensor foi importante para estabelecer uma temperatura média alcançada pela haste metálica a cada instante.

Esses resultados podem ser considerados muito bons dentro do objetivo metodológico proposto para o experimento. Eles revelam um comportamento térmico transiente muito rico para discussão em sala de aula.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os materiais utilizados na confecção do aparato experimental para a medida da dilatação térmica linear (dilatômetro) são de fácil aquisição. A montagem proporciona também flexibilidade para o uso de outros materiais. No que se refere à estabilidade da temperatura, o

aumento do número de velas se mostrou uma alternativa para mitigar o efeito da perda de energia produzida pela troca de ar com o ambiente externo.

Os valores dos coeficientes de dilatação térmica linear dos testes realizados foram consistentes com os valores da literatura evidenciando a qualidade do aparato proposto, dentro de uma margem de erro esperado para a montagem proposta. Pedagogicamente, o erro medido para o experimento não é uma falha, mas sim uma janela de oportunidade para o professor instigar os alunos a discutirem conceitos avançados, como a diferença entre sistemas ideais e sistemas abertos, inércia térmica dos materiais e as limitações de isolamento em experimentos reais.

Sob a ótica qualitativa, a transição de um modelo de ensino puramente expositivo para a experimentação visual e multissensorial empodera o estudante. O equipamento, aliado à coleta de dados e construção de gráficos passo a passo, materializa conceitos que tradicionalmente ficavam restritos à abstração matemática.

A sequência didática desenvolvida consolida-se como um organizador prévio valioso à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa. A aplicação e o aprimoramento contínuo deste projeto viabilizam o estudo prático da Física no Ensino Médio, demonstrando que a criatividade aliada à transposição didática é um caminho potente para transformar a educação científica nas escolas.

O presente trabalho alcançou seu objetivo central ao propor, construir e validar um dilatômetro linear de baixo custo como ferramenta didática para o ensino de Termodinâmica. Conclui-se que o aparato desenvolvido é altamente eficaz para democratizar a experimentação, atendendo com rigor aos seus propósitos qualitativos e quantitativos, provando que a ausência de laboratórios sofisticados não impede a prática de uma Física metrológica, crítica e investigativa.

REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, Jose de Pinho. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 174-188, ago. 2000.

AUSUBEL, David Paul. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN)**: Ensino Médio. Brasília: MEC, 2000.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa *et al.* **Ensino de Física: Ideias em Ação**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

GASPAR, Alberto. **Física 2: Ondas, óptica e termodinâmica**. São Paulo: Editora Ática, 2009.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica**, v. 2. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor**, 5. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física II, Sears e Zemansky: termodinâmica e ondas**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.