



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

DANILO AUGUSTO ARAÚJO OLIVEIRA

**PROPOSTA DE ENSINO DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR UTILIZANDO
SIMULAÇÃO**

FORTALEZA
2023

DANILO AUGUSTO ARAÚJO OLIVEIRA

PROPOSTA DE ENSINO DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR UTILIZANDO
SIMULAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O46p Oliveira, Danilo Augusto Araújo.
Proposta de ensino de dilatação térmica linear utilizando simulação / Danilo Augusto Araújo Oliveira. –
2023.
74 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Física, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Nildo Loiola Dias.

1. Dilatação térmica. 2. Ensino de Física. 3. Simulação computacional. I. Título.

CDD 530

DANILO AUGUSTO ARAÚJO OLIVEIRA

PROPOSTA DE ENSINO DE DILATAÇÃO TÉRMICA LINEAR UTILIZANDO
SIMULAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Nildo Loilola Dias.

Aprovada em: 28/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nildo Loilola Dias. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcos Antônio Araújo Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Ramos Gonçalves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Pedro e Bernarda.

Aos meus amigos Everton, Juan e Gerlan.

A todo corpo docente do Departamento de Física, onde me ajudaram em toda minha carreira acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, principalmente minha mãe, Bernarda, e meu pai, Pedro, por me darem todo o apoio necessário, tanto psicológico e emocional.

Ao Prof. Dr. Nildo Loilola Dias, pela excelente orientação.

Aos colegas da turma de graduação, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

Aos programas de extensão e de docência que participei durante todo o curso.

Aos meus grandes amigos Everton, Juan e Gerlan, pelas ideias e ajuda psicológica.

“O principal objetivo da educação é criar homens que sejam capazes de fazer coisas novas, não simplesmente repetir o que as outras gerações fizeram.” (PIAGET, 1970, p. 53).

RESUMO

A presente monografia tem como objetivo apresentar uma proposta para o ensino de dilatação térmica, utilizando uma simulação como ferramenta educacional. A dilatação térmica é um fenômeno físico presente no cotidiano das pessoas, mas muitas vezes é um tema de difícil compreensão para os estudantes, devido à sua natureza sutil e de difícil percepção no dia a dia. Neste estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o conceito de dilatação térmica, explorando suas bases teóricas e aplicações práticas. Além disso, foram analisados os desafios encontrados pelos professores ao abordar esse tema em sala de aula e as possíveis soluções pedagógicas existentes. A proposta de ensino apresentada nesta monografia tem como base a utilização de uma simulação computacional como uma estratégia complementar ao ensino tradicional. A simulação permite que os alunos visualizem de forma interativa e dinâmica o comportamento dos materiais quando são aquecidos ou resfriados, facilitando a compreensão dos conceitos de dilatação térmica. Para validar a proposta, foi realizado um estudo exploratório com um grupo de alunos que fizeram a disciplina Laboratório de Física Experimental para Engenharia, onde foram aplicadas atividades práticas reais após o isolamento social e envolvendo a simulação durante o período desse isolamento social. Em suma, a proposta de ensino de dilatação térmica linear utilizando a simulação apresentada nesta monografia demonstra ser uma abordagem promissora para melhorar o aprendizado dos estudantes nesse tema. A integração da simulação ao currículo escolar pode contribuir para tornar o ensino mais significativo, despertando o interesse dos alunos e facilitando a compreensão dos fenômenos físicos envolvidos na dilatação térmica.

Palavras-chave: dilatação térmica; ensino de física; simulação computacional.

ABSTRACT

This monograph aims to present a proposal for teaching thermal expansion, using a simulation as an educational tool. Thermal expansion is a physical phenomenon present in people's daily lives, but it is often a difficult topic for students to understand, due to its subtle nature and difficult perception in everyday life. In this study, a literature review was carried out on the concept of thermal expansion, exploring its theoretical bases and practical applications. Furthermore, the challenges encountered by teachers when approaching this topic in the classroom and the possible existing pedagogical solutions were analyzed. The teaching proposal presented in this monograph is based on the use of a computer simulation as a complementary strategy to traditional teaching. The simulation allows students to interactively and dynamically visualize the behavior of materials when they are heated or cooled, facilitating the understanding of the concepts of thermal expansion. To validate the proposal, an exploratory study was carried out with a group of students who took the Experimental Physics Laboratory for Engineering subject, where real practical activities were applied after social isolation and involving simulation during the period of this social isolation. In short, the proposal for teaching linear thermal expansion using the simulation presented in this monograph proves to be a promising approach to improving student learning on this topic. The integration of simulation into the school curriculum can contribute to making teaching more meaningful, arousing students' interest and facilitating the understanding of the physical phenomena involved in thermal expansion.

Keywords: thermal expansion; teaching physics; computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Dilatação e contração térmica a nível microscópico	18
Figura 2	– Termômetro analógico de mercúrio	22
Figura 3	– Espaçamento entre as juntas dos trilhos de trem	23
Figura 4	– Dilatômetro linear	24
Figura 5	– Dilatômetro linear com banho térmico	24
Figura 6	– Anel de Gravesande	25
Figura 7	– Exemplo de animação, relacionando a temperatura com movimento	27
Figura 8	– Exemplo de simulação, com a experiência de dilatação linear	28
Figura 9	– Exemplo de laboratório virtual, com aplicações em fluidos	28
Figura 10	– Simulador de voo da AFA para instrução dos cadetes	30
Figura 11	– Simulador de veículo da autoescola Casa Grande	31
Figura 12	– Jogo para celular Truck Simulator: Ultimate	31
Figura 13	– Simulação das propriedades dos gases	33
Figura 14	– Gráficos de energia cinética e velocidade das partículas na simulação	34
Figura 15	– Difusão dos gases na simulação	34
Figura 16	– Aumento da temperatura em dois líquidos da simulação	35
Figura 17	– Observação de como a energia flui em forma de calor	36
Figura 18	– Página inicial do Laboratório Virtual de Física	37
Figura 19	– Cópia da tela onde é possível escolher a simulação sobre Dilatação térmica ..	37
Figura 20	– Simulação do dilatômetro linear	38
Figura 21	– Foto do celular S10e acessando a simulação	50
Figura 22	– Foto do celular S10e acessando a simulação e a aplicando	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Diagrama para o experimento real do aço	42
Gráfico 2 – Diagrama para o experimento real do alumínio	43
Gráfico 3 – Diagrama para o experimento simulado do aço	43
Gráfico 4 – Diagrama para o experimento simulado do alumínio	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de dilatação térmica de alguns materiais	19
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
IA	Inteligência Artificial
AFA	Academia da Força Aérea
FAB	Força Aérea Brasileira
LLC	Limited Liability Company
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
UFC	Universidade Federal do Ceará
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional

LISTA DE SÍMBOLOS

Δ	Variación
α	Coefficiente de dilatación térmica linear
β	Coefficiente de dilatación térmica superficial
γ	Coefficiente de dilatación térmica volumétrico
%	Porcentagem
l	Comprimento
S	Área
V	Volume
T	Temperatura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO TEÓRICA: DILATAÇÃO TÉRMICA	18
2.1	Coeficientes de dilatação superficial e volumétrica	19
2.2	Dilatação térmica na prática	22
3	ANIMAÇÕES, SIMULAÇÕES E LABORATÓRIOS VIRTUAIS	26
4	SIMULAÇÕES: UMA ABORDAGEM MODERNA E EFICIENTE	30
4.1	4.1 Exemplos de simulações em ensino de física	32
4.1.1	<i>Simulação para o estudo das Propriedades dos Gases</i>	32
4.1.2	<i>Simulação para o estudo de transferência de calor</i>	35
4.1.3	<i>Simulação para o estudo de dilatação térmica linear</i>	36
5	ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS ALUNOS	40
5.1	Comparação entre as médias das notas	40
5.2	Comparação entre as respostas das questões dos relatórios usados	40
5.3	Comparação entre os valores do coeficiente de dilatação térmica	42
5.4	Analisando os resultados das comparações	44
6	A PROPOSTA DE ENSINO	47
6.1	Objetivos educacionais	47
6.2	Metodologia de ensino	47
6.3	Avaliação da aprendizagem	48
6.4	Recursos e materiais didáticos, alinhamento com diretrizes educacionais e flexibilidade da proposta de ensino	48
6.5	Plano de aula	49
7	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	53
	APÊNDICE A – PLANO DE AULA	56
	ANEXO A – ROTEIRO DE PRÁTICAS DO EXPERIMENTO REAL	58
	ANEXO B – ROTEIRO DE PRÁTICAS DO EXPERIMENTO SIMULADO	67

1 INTRODUÇÃO

O ensino de física, no seu contexto geral, é bastante desafiador hoje em dia no ensino básico. Como essa matéria envolve desde conceitos abstratos até equações matemáticas complexas, se torna bem dificultoso para os professores aplica-la de uma forma simples e fácil de entender para seus alunos. Introduzir conceitos, tais como energia, força e momento, por exemplo, pode ser bastante complexo, já que esses conceitos abstratos podem ser difíceis para os alunos visualizarem e entenderem, pois não são diretamente observáveis no mundo ao seu redor.

No contexto matemático, também se tem para a física uma dependência forte do uso de equações matemáticas para descrever e prever fenômenos naturais. No entanto, muitos alunos têm dificuldades com a matemática, o que pode dificultar a compreensão e a aplicação das equações nesse contexto.

A interdisciplinaridade da física também deixa essa matéria muito abrangente, pois ela se interrelaciona com muitas áreas da ciência, como química e biologia. Se os alunos não tiverem uma base sólida nesses assuntos, eles podem ter dificuldade para entender os conceitos físicos. Isso pode tornar ainda mais desafiador para o aluno, podendo criar no mesmo uma falta de interesse pelo assunto e assim o distanciamento ainda mais do ensino de física.

Uma linguagem técnica específica também faz parte da física, que pode ser difícil para os alunos entenderem. Os professores podem precisar gastar mais tempo explicando a terminologia e os conceitos para ajudar os alunos a entender o material. Arelado a isso, vem a experimentação: a física é uma ciência que depende fortemente da ação de testar e validar teorias, de onde, para efeito de organização, surge a linguagem técnica da mesma. No entanto, a realização de experimentos pode ser demorada e cara, o que pode tornar um desafio para os professores fornecerem experiências práticas de aprendizado para seus alunos.

Por fazerem parte de um grupo social, o professor de física e seus alunos também podem ter dificuldades no ensino da matéria nesse âmbito. As origens culturais e sociais dos alunos podem afetar sua compreensão dos conceitos da física. Os professores podem precisar estar atentos a essas barreiras e trabalhar para criar um ambiente de sala de aula inclusivo e acolhedor para todos.

No geral, ensinar física pode ser uma tarefa desafiadora que requer planejamento e preparação cuidadosos para ajudar os alunos a entender os conceitos e aplicações desse importante assunto. Portanto, é nesse contexto que a dilatação térmica também se encontra.

A dilatação térmica é um fenômeno natural no qual a matéria se expande quando aquecida e se contrai quando resfriada. Este fenômeno tem muitas aplicações práticas em engenharia e construção, pois é essencial entender as propriedades térmicas dos materiais para projetar estruturas seguras e confiáveis. No entanto, ensinar dilatação térmica pode ser uma tarefa desafiadora, pois envolve todos os problemas relacionados a física que se destacou anteriormente.

Esta monografia propõe o uso de softwares de simulação para ensinar dilatação térmica, pois permite que os alunos visualizarem os efeitos das mudanças de temperatura em diferentes materiais de forma intuitiva e interativa. A monografia apresentará um plano detalhado de como usar os softwares de simulação para ensinar dilatação térmica, começando com o embasamento teórico e passando para a exploração interativa de diferentes materiais.

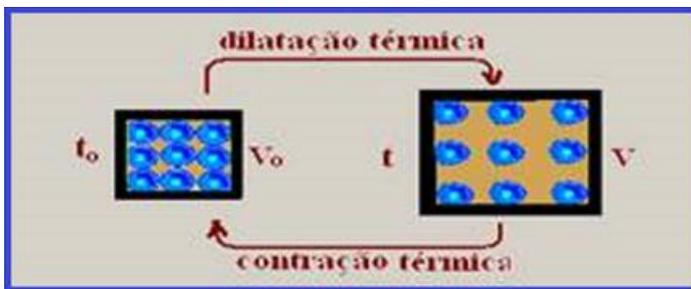
O plano proposto visa ajudar os alunos a compreender os princípios fundamentais da dilatação térmica e suas aplicações práticas. Usando softwares de simulação, os alunos podem explorar os efeitos das mudanças de temperatura em diferentes materiais e obter uma compreensão mais profunda dos conceitos subjacentes. De forma simplificada, essa abordagem inovadora para o ensino da dilatação térmica, usando softwares de simulação, pode fornecer uma experiência de aprendizado mais envolvente e eficaz para os alunos, como proposta para resolver os problemas citados anteriormente.

2 REVISÃO TEÓRICA: DILATAÇÃO TÉRMICA

A dilatação térmica se resume, como conceito, sendo o fenômeno em que a matéria se expande de acordo com o aumento da temperatura. Isso acontece em gases, líquidos e sólidos. Em específico, o estudo dessa monografia trata dos fenômenos da dilatação térmica em sólidos, pois as simulações que serão mostradas estarão nesse âmbito.

Essa expansão da matéria está ligada diretamente a um distanciamento médio das suas partículas microscópicas, como mostra na Figura 1.

Figura 1 – Dilatação e contração térmica a nível microscópico.



Fonte: <https://fisicaevestibular.com.br/novo/fisica-termica/dilatometria/>. Acesso em 05 out. 2023.

Num sólido, quando duas de suas extremidades estão inicialmente espaçadas com uma distância l_0 , a variação Δl dessa distância devida ao aumento de temperatura é proporcional a l_0 . Essa variação da distância também é proporcional à variação de temperatura ΔT . Logo, a proporcionalidade entre essas variáveis fica:

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T \quad 2.1$$

O coeficiente de dilatação linear α compreende precisamente como a constante de proporcionalidade entre as grandezas estão relacionadas. Nos usos dessa equação, é desprezado as variações que α pode ter com a temperatura.

Podemos desenvolver um pouco mais a Equação 2.1 para se ter uma melhor visualização dos pontos iniciais e finais tanto das distâncias como das temperaturas. Nesse caso, é considerado identificar as variações dessas devidas grandezas. Sendo assim, se tem:

$$l = l_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad 2.2$$

Os valores de α são bem pequenos, da ordem de 10^{-5} . Sua medida é tida em $(^\circ\text{C})^{-1}$. Vários materiais tem seus específicos coeficientes de dilatação térmica linear, como aço: $1,2 \times 10^{-5} (^\circ\text{C})^{-1}$. A Tabela 1 mostra uma variedade desses valores:

Tabela 1 – Coeficiente de dilatação térmica de alguns materiais.

Coeficientes de dilatação linear	
Material	α [K^{-1} ou $(^\circ\text{C})^{-1}$]
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	$1,2 \times 10^{-5}$

Fonte: <https://docente.ifrn.edu.br/edsonjose/disciplinas/fisica-ii-licenciatura-em-quimica-1/tabela-coeficiente-de-dilatacao-linear-de-alguns-materiais/view>. Acesso em 13 out. 2023.

2.1 Coeficientes de dilatação superficial e volumétrica

Como foi visto, a dilatação térmica dos sólidos pode ocorrer no decorrer de uma distância da sua extensão, ou seja, em uma linha. No entanto, se sabe que os corpos sólidos possuem mais que uma dimensão de espaço, que se totalizam em três dimensões para esse estudo. Portanto, há a necessidade de também se verificar como ocorre a expansão da matéria nos planos e nos volumes.

Ao se verificar a expansão que ocorre, por exemplo, em uma lâmina delgada de um material sólido, a variação de sua área S ocasionada pela variação de temperatura T vai ser descrita como:

$$\Delta S = S_0 * 2\alpha\Delta T \quad 2.3$$

A Equação 2.3 vem da indução matemática de se usar a Equação 2.2 como forma de encontrar os lados dessa lâmina delgada retangular após a variação de temperatura e assim fazer a nova área do retângulo, que seria a área S , usando a formula básica da área de um retângulo. Logo, usando a para o lado vertical da lâmina após a variação de temperatura, se tem:

$$a = a_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad 2.4$$

E b para o lado horizontal da lâmina após a variação de temperatura, se tem:

$$b = b_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad 2.5$$

Usando as Equações 2.4 e 2.5 na área do retângulo como área da lâmina, S , se tem:

$$S = a \cdot b = a_0[1 + \alpha(T - T_0)] \cdot b_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

$$S = a_0 \cdot b_0[1 + \alpha(T - T_0)]^2$$

Sabendo que o valor inicial da área da lâmina é S_0 e aplicando a expressão notável que equivale ao valor ao quadrado na equação, se tem:

$$S = S_0[1 + 2\alpha(T - T_0) + \alpha^2(T - T_0)^2]$$

Como o valor de α já é pequeno comparado com os valores dentro da equação, α^2 se tornará um valor desprezível, ou seja, tenderá a zero. Logo, o termo da equação com α^2 pode ser igualado a zero. Assim, a equação fica:

$$S = S_0[1 + 2\alpha(T - T_0)]$$

$$S = S_0 + S_0 \cdot 2\alpha(T - T_0)$$

$$S - S_0 = S_0 \cdot 2\alpha(T - T_0)$$

$$\Delta S = S_0 * 2\alpha\Delta T$$

Portanto, se tem a Equação 2.3 deduzida. Também se pode ter uma forma parecida da Equação 2.2 para a dilatação superficial, que está no cálculo anterior. Ela fica da seguinte forma, na Equação 2.6:

$$S = S_0[1 + 2\alpha(T - T_0)] \quad 2.6$$

Do mesmo modo, em um corpo sólido que possui o formato de um paralelepípedo, a variação de seu volume V será:

$$\Delta V = V_0 * 3\alpha\Delta T \quad 2.7$$

De forma análoga como feito para a área, a variação do volume V também pode ser achada de forma indutiva matematicamente, usando agora a formula do volume do paralelepípedo. Adicionando c como lado perpendicular ao plano de área dos outros lados, a e b , se tem, para os lados:

$$a = a_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad 2.4$$

$$b = b_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad 2.5$$

$$c = c_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad 2.8$$

Usando as Equações 2.4, 2.5 e 2.8 na formula do volume do paralelepípedo como volume do corpo sólido, se tem:

$$V = a \cdot b \cdot c = a_0[1 + \alpha(T - T_0)] \cdot b_0[1 + \alpha(T - T_0)] \cdot c_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

$$V = a_0 \cdot b_0 \cdot c_0[1 + \alpha(T - T_0)]^3$$

Sabendo que o valor inicial do volume do corpo sólido é V_0 e aplicando a expressão notável que equivale ao valor ao cubo na equação, se tem:

$$V = V_0[1 + 3\alpha(T - T_0) + 3\alpha^2(T - T_0)^2 + \alpha^3(T - T_0)^3]$$

Fazendo a mesma análise referente ao valor de α , como foi feito no cálculo da área, os valores de potência do mesmo ficam desprezíveis. Logo, se tem:

$$V = V_0[1 + 3\alpha(T - T_0)]$$

$$V = V_0 + V_0 \cdot 3\alpha(T - T_0)$$

$$V - V_0 = V_0 \cdot 3\alpha(T - T_0)$$

$$\Delta V = V_0 * 3\alpha\Delta T$$

Portanto, a Equação 2.7 está provada também. Assim como se tinha para área, também se tem para o volume uma fórmula equivalente à da Equação 2.2, que está no cálculo anterior:

$$V = V_0[1 + 3\alpha(T - T_0)] \quad 2.9$$

Nussenzveig (2014) também possui uma forma de achar as Equações 2.3 e 2.7, que não inclui indução matemática. Ele usa razão das variações de área e volume para chegar no resultado. Esse método é um pouco mais abstrato, pois usa conceitos próximos de cálculo de derivadas, o que torna para o aluno do ensino médio complicado de entender. No entanto, seu esboço merece ser mencionado como um adicional, pois é muito relevante como variante na dedução das mesmas equações citadas.

Ao se ver as duas equações 2.3 e 2.7, se percebe os valores 2α e 3α . Esses valores são, respectivamente, os coeficientes de dilatação superficial e volumétrica. Suas devidas variáveis são β (superficial) e γ (volumétrica). Logo, as relações entre os coeficientes de dilatação ficam:

$$\beta = 2\alpha \quad 2.10$$

$$\gamma = 3\alpha \quad 2.11$$

Logo, atualizando cada equação de variação com seu respectivo coeficiente de dilatação térmica, se tem:

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T \quad 2.12$$

$$\Delta S = \beta S_0 \Delta T \quad 2.13$$

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta T \quad 2.14$$

Onde, abrindo cada variação, se obtêm:

$$l = l_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad 2.15$$

$$S = S_0[1 + \beta(T - T_0)] \quad 2.16$$

$$V = V_0[1 + \gamma(T - T_0)] \quad 2.17$$

Portanto, se pode calcular as variações de linha, área e volume dos sólidos quando eles expandem com o aumento da temperatura usando essas formulas vistas. É a partir delas que as simulações que serão estudas irão basear seus resultados quando forem aplicadas.

2.2 Dilatação térmica na prática

Como visto anterior, a dilatação térmica se dá pela expansão da matéria quando a mesma é submetida a uma variação na sua temperatura, sendo como consequência do aumento do espaçamento entre suas partículas microscópicas. Sabendo disso, tudo no dia a dia tem interferência direta desse fenômeno físico, desde objetos pequenos, quando se usa um termômetro a base de mercúrio para aferir a temperatura (Figura 2), até objetos muito grandes, como trilhos de trem com grandes distâncias (Figura 3). Isso demonstra a importância direta do seu entendimento, já que o mesmo atua em várias áreas do conhecimento humano, como construção civil, transportes e medicina.

Figura 2 – Termômetro analógico de mercúrio.



Fonte: <https://www.vidaecacao.com.br/termometro-de-mercúrio-tem-venda-proibida-no-brasil/>. Acesso em 05 out. 2023.

Figura 3 – Espaçamento entre as juntas dos trilhos de trem.



Fonte: <http://elisiofisica.blogspot.com/2010/12/dilatacao-linear.html>. Acesso em 05 out. 2023.

Diferente dos trilhos de trem, onde muitas vezes o professor mostra ao aluno, sem uma experiência previa, que o espaçamento entre eles é necessário para a proteção contra possíveis deformação devidas a dilatação e a contração do metal para prevenir acidentes, o dilatômetro linear foi construído exatamente para o aluno observar esse fenômeno ao vivo.

No entanto, para se estudar a dilatação térmica na escola e na faculdade, foram desenvolvidos experimentos práticos onde se pode observar esse fenômeno com mais facilidade, podendo dimensionar os valores das grandezas relacionadas a ele com precisão. Um dos mais conhecidos é o experimento do dilatômetro linear. Na Figura 4 mostramos um dilatômetro comum utilizado em laboratórios de ensino de física. O experimento é feito para determinar o coeficiente de dilatação térmica linear de alguns metais quando aquecidos. Ao se colocar um tubo de cobre, por exemplo, e aquece-lo através de um fluxo de vapor de água pelo interior do tubo oco, o tubo irá dilatar pois a temperatura do tubo irá aumentar da temperatura ambiente até a temperatura do vapor de água. Neste modelo é possível variar a temperatura de uma vareta metálica somente da temperatura ambiente até a temperatura do vapor d'água.

Figura 4 – Dilatômetro linear.



Fonte: elaborado pelo autor.

Experimento semelhante também pode ser realizado usando um aquecimento por banho térmico como mostrado na Figura 5. Neste caso o banho térmico é ligado ao tubo metálico por uma mangueira, por onde circula um líquido aquecido a uma temperatura que pode ser regulada. Neste experimento a temperatura final de aquecimento do tubo pode ser variada, dependendo da temperatura escolhida no banho térmico. O contrário também é válido caso espere o tubo de cobre esfriar, para comprovar a contração também. Ao se ter os valores de variação do comprimento do tubo e da temperatura do termômetro ligado ao experimento, se pode chegar ao valor do coeficiente de dilatação térmica linear do cobre usando a Equação 2.12.

Figura 5 – Dilatômetro linear com banho térmico.



Fonte: http://www.3bscientific.com/de/experiment-thermische-ausdehnung-fester-koerper-230-v-5060-hz-8000577-ue2010130-230-3b-scientific,p_1413_28052.html. Acesso em 04 nov. 2023.

Outro experimento bastante pertinente a esse assunto é o do Anel de Gravesande, Figura 6. Este experimento é constituído por um suporte preso a uma base, onde no meio desse suporte está preso outro, com uma prolongação que possui um anel na sua ponta. Na ponta do

suporte primário, há uma corrente onde está presa uma esfera, a qual possui o mesmo raio do anel e passa pelo anel com facilidade. A ideia de estudo de dilatação nesse experimento está no fato de se aquecer a esfera. Ao se aquecer a esfera, percebe-se que a mesma apresenta dificuldade para atravessar o anel, até que chega um ponto em que a mesma não o faz. Ao esfriar, a esfera volta a passar pelo anel.

Figura 6 – Anel de Gravesande.



Fonte: <https://physicsvirtualmuseum.ufop.br/thermodynamics/anel-de-Gravesande.html>. Acesso em 05 out. 2023.

O experimento do Anel de Gravesande é um ótimo exemplo de o aluno observar ao vivo o fenômeno da dilatação térmica volumétrica qualitativamente. Isso é devido ao fato de que o volume da esfera muda com a variação da temperatura. Se pode fazer o mesmo estudo quantitativo do experimento do dilatômetro linear, que consistiria em calcular o coeficiente volumétrico do material de que é feito a esfera de metal.

3 ANIMAÇÕES, SIMULAÇÕES E LABORATÓRIOS VIRTUAIS

O uso das TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação) vem aumentando exponencialmente durante a última década. Atualmente, praticamente tudo que se faz hoje em dia tem uma TIC como ferramenta direta de uso funcional, em todos os setores da sociedade, e na educação não é diferente. No ensino de ciências, essa utilização é mais forte ainda. Muitos trabalhos de outros estudiosos também demonstraram esse cenário, como o de Rosa e Grotto (2008), no qual mostra algumas causas e como elas influenciam diretamente nesse cenário atual, como a facilitação no dinamismo do ensino.

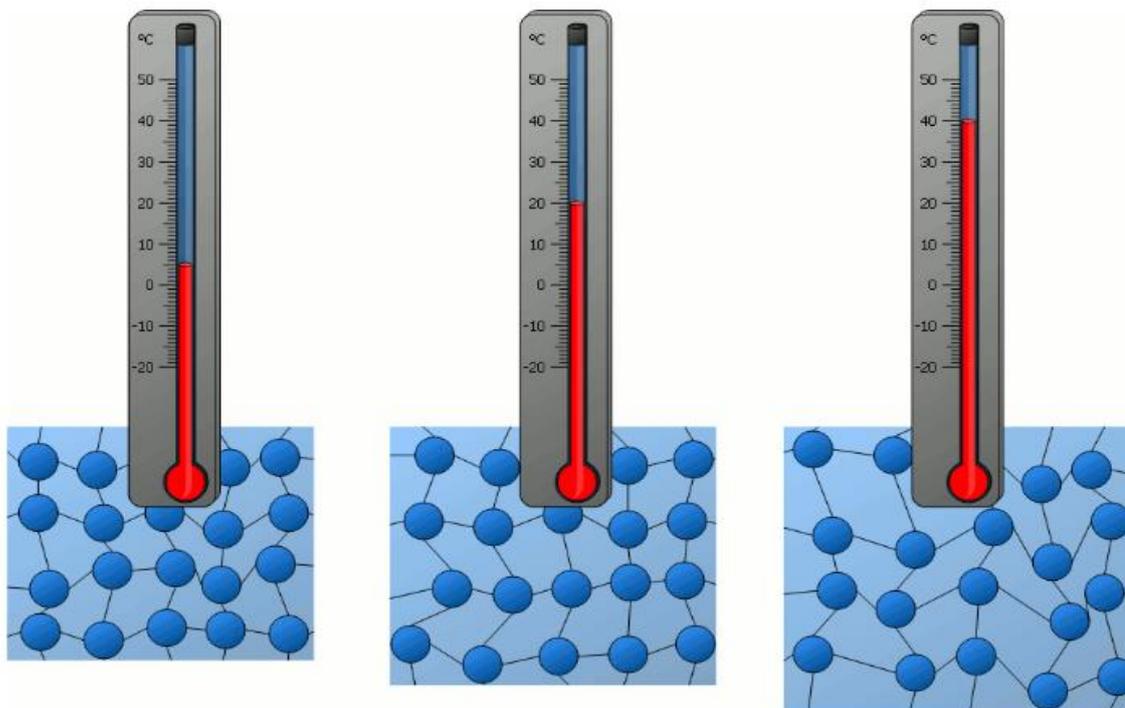
As pesquisas direcionadas as TIC no ensino de ciências têm sido muito dinâmicas, pois cada vez que mais se estuda sobre esse assunto, mais aparecem novas formas de aplicá-las e novas formas de TIC, como, por exemplo, aplicativos de tradução, resumo de assuntos e memorização, dentre outros. Essa dinâmica altamente fluida dessa área fica cada vez mais forte com a vinda da IA (Inteligência Artificial), mas ainda está no início. Logo, o que se utiliza mais nos dias de hoje como ferramentas para o ensino de física, tanto no ensino básico como no ensino superior, são as animações, simulações e laboratórios virtuais.

As animações, simulações e laboratórios virtuais são, como visto anteriormente, as novas tecnologias usadas com mais frequência na educação hoje em dia. No entanto, há diferenças significativas entre essas TICs, que permeiam tanto o seu conceito como a forma que são usadas no contexto do ensino de ciências.

Animações são representações visuais de objetos ou cenários em movimento. Elas são criadas por meio de uma sequência de imagens estáticas que se alteram rapidamente, criando a ilusão de movimento. As animações podem ser feitas à mão, usando técnicas tradicionais de desenho ou, mais comumente, por meio de *software* de animação. As animações podem ser usadas para entretenimento, publicidade, educação e muito mais.

Na Figura 7, está um exemplo de animação, que mostra, dentro da matéria de termologia, a interferência da temperatura no movimento das partículas. Quanto maior o valor da temperatura, maior será o movimento das partículas

Figura 7 – Exemplo de animação, relacionando a temperatura com movimento.

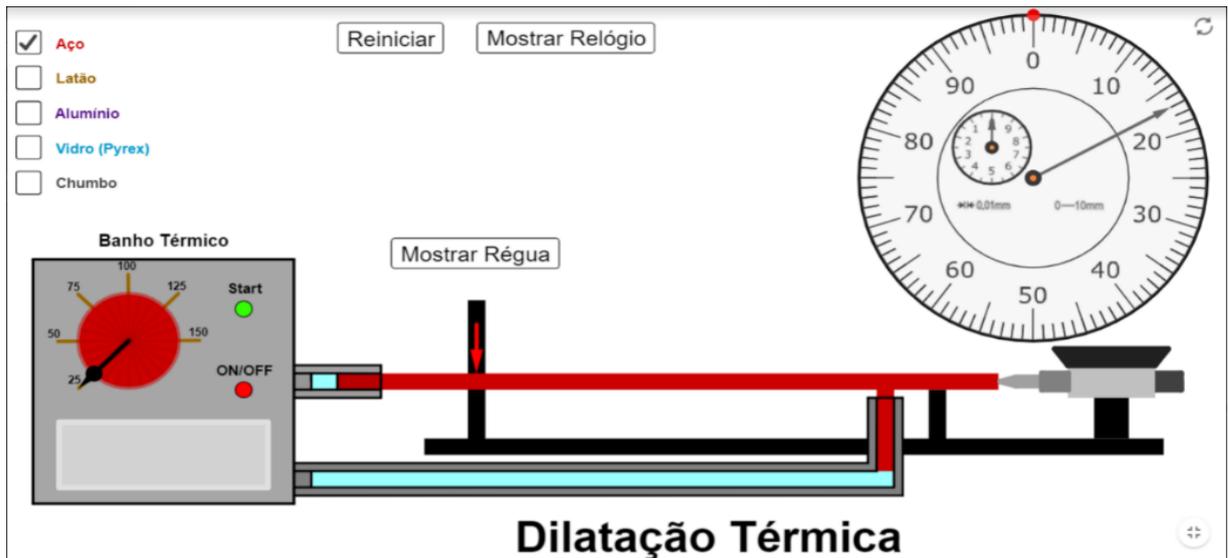


Fonte: <https://www.tec-science.com/thermodynamics/temperature/temperature-and-particle-motion/>. Acesso em 04 nov. 2023.

Simulações são modelos computacionais que replicam um sistema ou processo real, permitindo que os usuários interajam com ele. Elas são projetadas para representar o comportamento e as características do objeto ou fenômeno real de forma virtual. As simulações podem ser usadas para prever resultados, testar hipóteses, treinar habilidades ou fornecer experiências práticas sem os riscos associados ao mundo real. Elas são amplamente utilizadas em áreas como ciências, engenharia, medicina, aviação, jogos, etc.

Na Figura 8, está um exemplo de simulação, que mostra o funcionamento do dilatômetro linear de banho térmico, ao qual foi explicado seu funcionamento no capítulo 2 deste trabalho.

Figura 8 – Exemplo de simulação, com a experiência de dilatação linear.



Fonte: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/dilatacao-termica>. Acesso em 14 out. 2023.

Laboratórios virtuais são ambientes simulados que permitem a realização de experimentos e atividades práticas por meio de computadores ou dispositivos digitais. Eles recriam um ambiente de laboratório real, fornecendo recursos e ferramentas virtuais para a realização de experimentos, análises e observações. Os laboratórios virtuais podem ser usados em educação científica, onde permitem que os estudantes pratiquem e apliquem conceitos teóricos em um ambiente seguro e controlado. Na Figura 9, tem um exemplo desses laboratórios virtuais.

Figura 9 – Exemplo de laboratório virtual, com aplicações em fluidos.



Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=Pi7O4EYLB_s&t=7s&ab_channel=Prof.FabianoMeira. Acesso em 15 out. 2023.

Dessas diferenças que foram vistas, se percebe que as simulações e os laboratórios virtuais geram um procedimento educacional mais ativo, que guia o estudante a ser o protagonista do seu conhecimento, pois ele vê as transformações e mudanças nessas TICs ao seu comando, usando valores ou regras que ele mesmo testa dentro delas, a medida que as vai usando. Isso ajuda de maneira significativa no entendimento dos assuntos, pois se houver algum erro, ele pode ajeitar e ver novos valores e conceitos que condizem com a realidade dos fenômenos estudados. Nas animações, o processo é mais passivo, pois o estudante só vê o que acontece, sem ter o poder de mudar algo nas mesmas, pois elas já foram programas para seguirem um único roteiro de fatos em uma sequência lógica.

No entanto, se percebi diferenças também marcantes quando se compara as simulações e os laboratórios virtuais. Nas simulações, a relação do aluno com a matéria se dá com processos nos quais a existência depende da adesão a uma teoria, ou seja, o processo pode ser modificado, mas é inteiramente fechado nos parâmetros extremos e com pouco ou nenhum erro relativo dos valores achados. Um exemplo seria a simulação de dilatação térmica mostrada anteriormente e que também será usada no processo de demonstração da proposta de ensino mais à frente. Ela exprime com exatidão os valores de mudanças na dilatação linear dos vários materiais, deixando ao usuário apenas a incerteza na leitura do Δl . Já no caso dos laboratórios virtuais, há a representação de fatores que pertencem ao mundo real, ou seja, os laboratórios virtuais tentam exprimir por experiências ou demonstrações experimentais através de software de computador fenômenos que podem ocorrer na natureza e tentá-los medir, podendo ter variação na sua precisão, à medida que se vai fazendo as devidas modificações. Nesse caso, o erro relativo nos laboratórios virtuais é muito importante, pois dele se tirará uma experiência o mais perto possível do real, e por isso é imprescindível calculá-lo para efeitos de dedução de resultados encontrados das demonstrações feitas.

4 SIMULAÇÕES: UMA ABORDAGEM MODERNA E EFICIENTE

Sabendo das diferenças que se viu sobre animações, simulações e laboratórios virtuais, a explicação da base da proposta de ensino deste trabalho, que são as simulações, pode ser melhor explicada.

O uso de simulações que reproduzam fenômenos reais já é costumeiramente usado no dia a dia. Não só no ensino elas são aplicadas, mas também em quase todo tipo de sistema que se precisa de um relevante fator de precisão para funcionar, já que o mesmo projeta a máxima aproximação com a realidade do fenômeno ao qual se replica. Desde simuladores de voos para o treinamento de pilotos, Figura 10, até autoescolas, Figura 11, que usam simulações que fazem uma precisa movimentação de veículos para as aulas práticas de seus alunos, esse método tecnológico vem sendo cada vez mais utilizado no dia a dia, seja no trabalho, no aprendizado ou no lazer, como na Figura 12.

Figura 10 – Simulador de voo da AFA para instrução dos cadetes.



Fonte: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/35997/ENSINO%20-%20FAB%20inaugura%20novo%20sistema%20de%20simulador%20de%20voo%20para%20instru%C3%A7%C3%A3o%20dos%20Cadetes%20Aviadores>. Acesso em 26 out. 2023.

Figura 11 – Simulador de veículo da autoescola Casa Grande.



Fonte: <https://www.autoescolacasagrande.com.br/simulador-de-direcao/>. Acesso em 26 out. 2023.

Figura 12 – Jogo para celular Truck Simulator: Ultimate.



Fonte: <https://truck-simulator-ultimate.br.uptodown.com/android>. Acesso em 26 out. 2023.

Levando para o lado da educação, mais relacionado ao ensino de física, também se tem bastante exemplos dos mesmos. São nessas simulações onde o ensino de física hoje passa por uma transformação na abordagem prática do mesmo.

Os laboratórios de demonstrações científicas reais são muito chamativos para os alunos, pois eles mostram ao educando como um determinado fenômeno físico acontece na prática, de forma concreta. No entanto, gradativamente, eles vêm sendo substituídos por versões digitais que, de forma mais dinâmica, chegam a ser excelentes aproximações dos experimentos reais.

As diferenças entre a forma de ver o fenômeno numa demonstração e numa simulação são bastante distintas. Enquanto na demonstração, o estudante consegue ter uma reação com fenômeno de forma real e direta, na simulação, ele tem um contato mais abstrato e indireto. Também, na demonstração prática, há uma dificuldade com os processos circunstanciais, que estão ligados as grandezas naturais dos fenômenos estudados, enquanto na simulação, estes acontecimentos circunstanciais não são pré-definidos ou mudados em uma escala programada no algoritmo da simulação. Portanto, cada forma de mostrar na prática um fenômeno físico tem suas particularidades. Nisso, o fomento de usar um ou o outro será definido pelo educador na medida em que seu trabalho melhor se encaixar na forma de sua proposta de ensino ou da disponibilidade do meio desejado. Nesse trabalho, entretanto, será demonstrado que as simulações têm uma importância facilitadora com relação as demonstrações práticas reais.

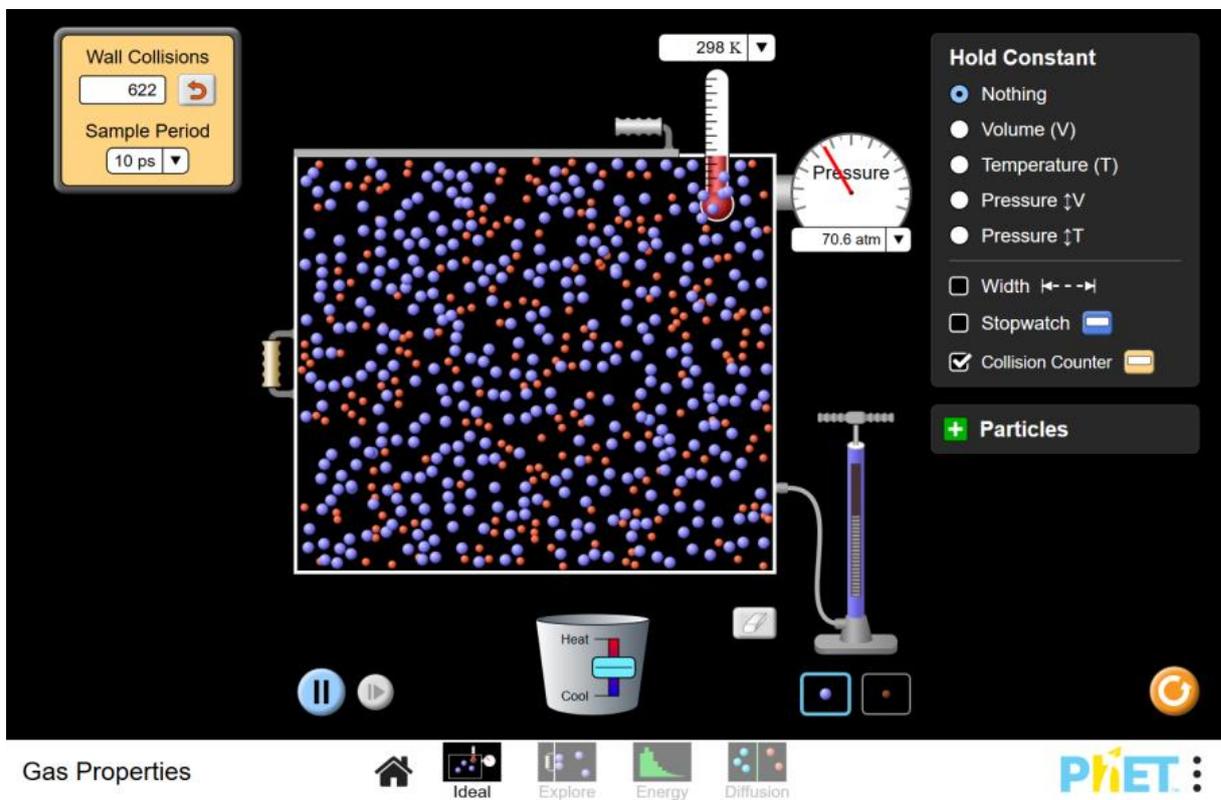
4.1 Exemplos de simulações em ensino de física

Uma simulação de ensino de física precisa compreender, como já foi relatado antes, um fenômeno físico real. Nela, se precisa ter todo o arcabouço conceitual deste fenômeno. Todas as suas variáveis aplicadas precisam estar bem calculadas e disponibilizadas no algoritmo para serem usadas pelos alunos da maneira mais precisa possível. Por isso que são feitos muito testes nessas aplicações digitais antes de disponibilizarem aos alunos. A seguir, será disponibilizado alguns exemplos de simulações no ensino de física, para se melhor entender como elas são montadas em alguns assuntos de termologia e termodinâmica e, portanto, ter uma ideia geral de como elas funcionam.

4.1.1 Simulação para o estudo das Propriedades dos Gases

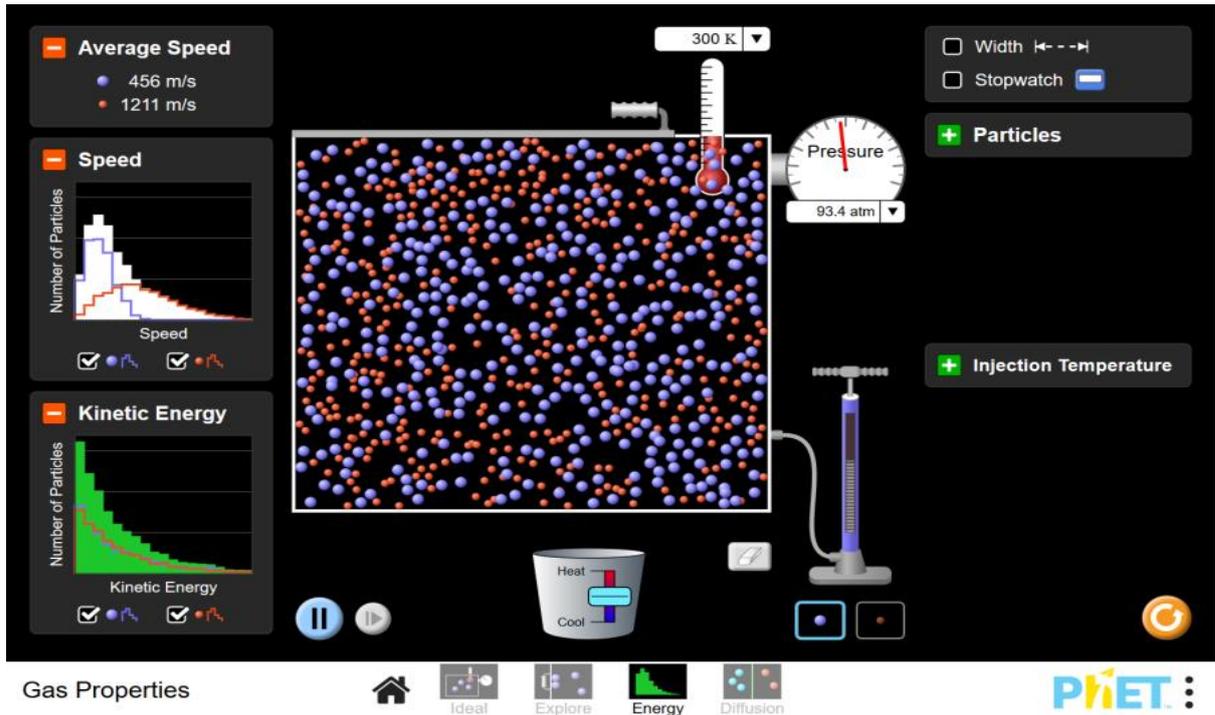
A simulação de estudo das propriedades dos gases foi a usada do projeto PhET, ao qual tem o mesmo nome. A simulação se trata da construção de um sistema de injeção de partículas de gases diferentes, aos quais se diferenciam pelo formato e pela cor delas. Nessa simulação, se pode estudar várias propriedades dos gases, como as variantes de temperatura, pressão e volume. Essas variantes mudam de valor ao decorrer do processo de aplicação das várias mudanças que se podem ser feitas no sistema, como mostra na Figura 13. Há também estudos de energia cinética, Figura 14, e também de difusão dos gases, Figura 15.

Figura 13 – Simulação das propriedades dos gases.



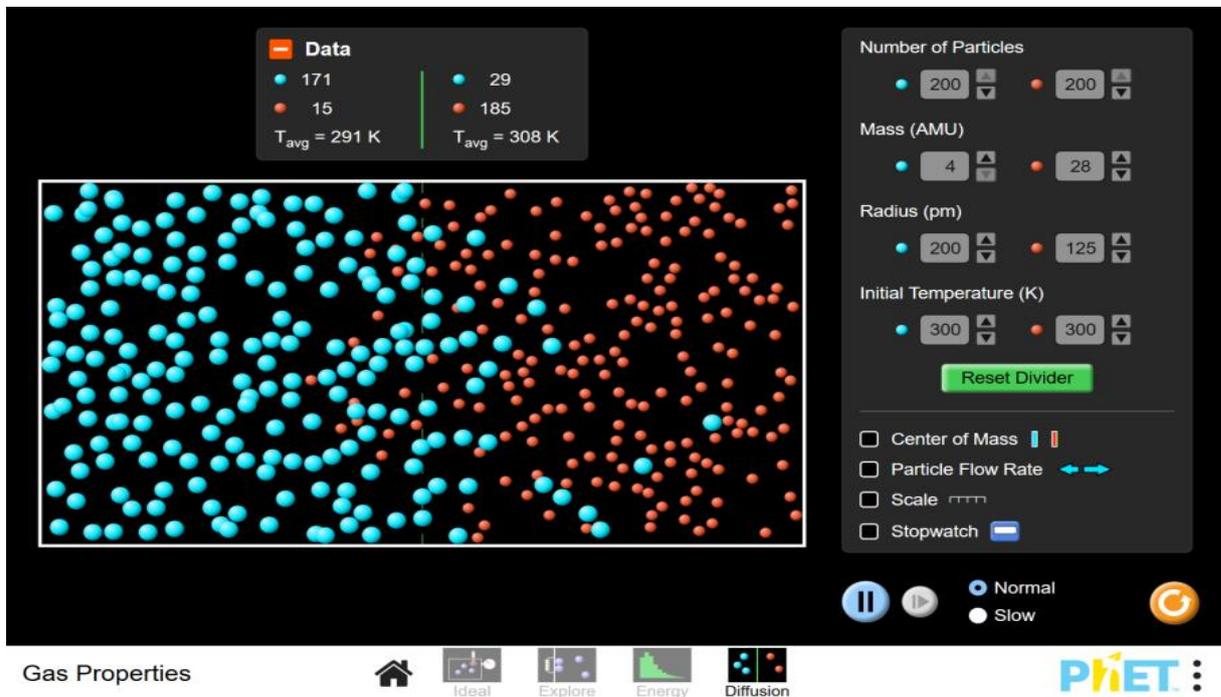
Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties-900.png>. Acesso em 02 nov. 2023.

Figura 14 – Gráficos de energia cinética e velocidade das partículas na simulação.



Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties-900-alt2.png>. Acesso em 02 nov. 2023.

Figura 15 – Difusão dos gases na simulação.



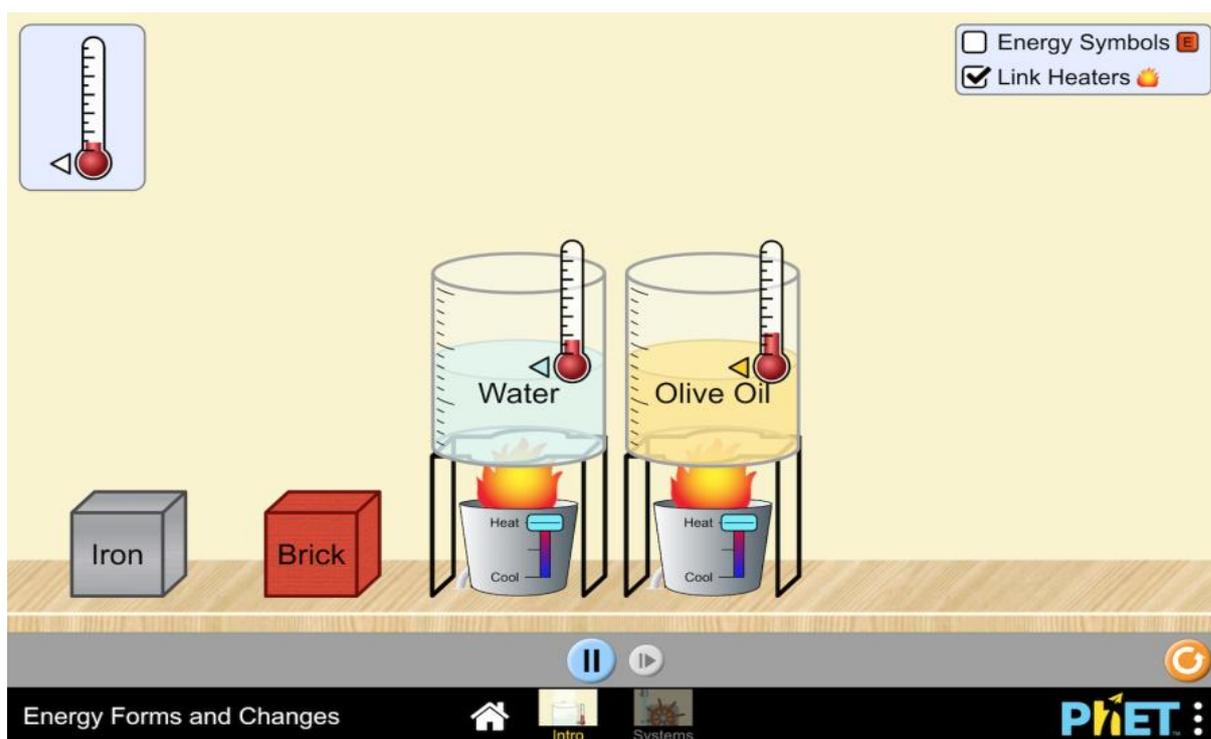
Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties-900-alt3.png>. Acesso em 02 nov. 2023.

4.1.2 Simulação para o estudo de transferência de calor

Nesta simulação, pode ser visto uma parte do conjunto de simulações do projeto PhET relacionados a Formas de Energia e Transformações. A simulação em questão consiste em montar dois sistemas de transferência de calor, para critério de comparação. Cada um possui bases onde debaixo delas existem fontes de calor ou resfriamento. Podem ser colocados termômetros nas substâncias que vão em cima dessas bases, para aferir a temperatura delas ao se aquecer ou resfriar. Os sistemas montados podem ter mais de uma substância, mostrando a ideia do diferencial da temperatura nas diferentes montagens desses sistemas. Se pode ver como o calor flui em forma de energia, se perdendo ou se ganhando em cada substância.

Essa simulação que tem este conteúdo está na aba Intro. As Figuras 16 e 17 exemplificam bem o que foi descrito delas.

Figura 16 – Aumento da temperatura em dois líquidos da simulação.



Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes-900-alt1.png>. Acesso em 02 nov. 2023.

Figura 17 – Observação de como a energia flui em forma de calor.



Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes-900.png>. Acesso em 02 nov. 2023.

4.1.3 Simulação para o estudo da dilatação térmica linear

Nessa última simulação, base do trabalho em questão, se pode estudar a dilatação térmica linear, com uma variante de materiais. A simulação foi elaborada no *GeoGebra* e disponibilizada no Laboratório Virtual de Física da Universidade Federal do Ceará, Figura 18.

Essa simulação consiste em um dilatômetro linear a base de Banho Térmico, tendo sua precisão o mais próximo possível do real.

Figura 18 – Página inicial do Laboratório Virtual de Física.



Fonte: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/>. Acesso em 04 nov. 2023.

Após clicar na aba SIMULAÇÕES é possível escolher o assunto Termodinâmica e em seguida a simulação sobre o experimento de Dilatação Térmica, Figura 19.

Figura 19 – Cópia da tela onde é possível escolher a simulação sobre Dilatação térmica.

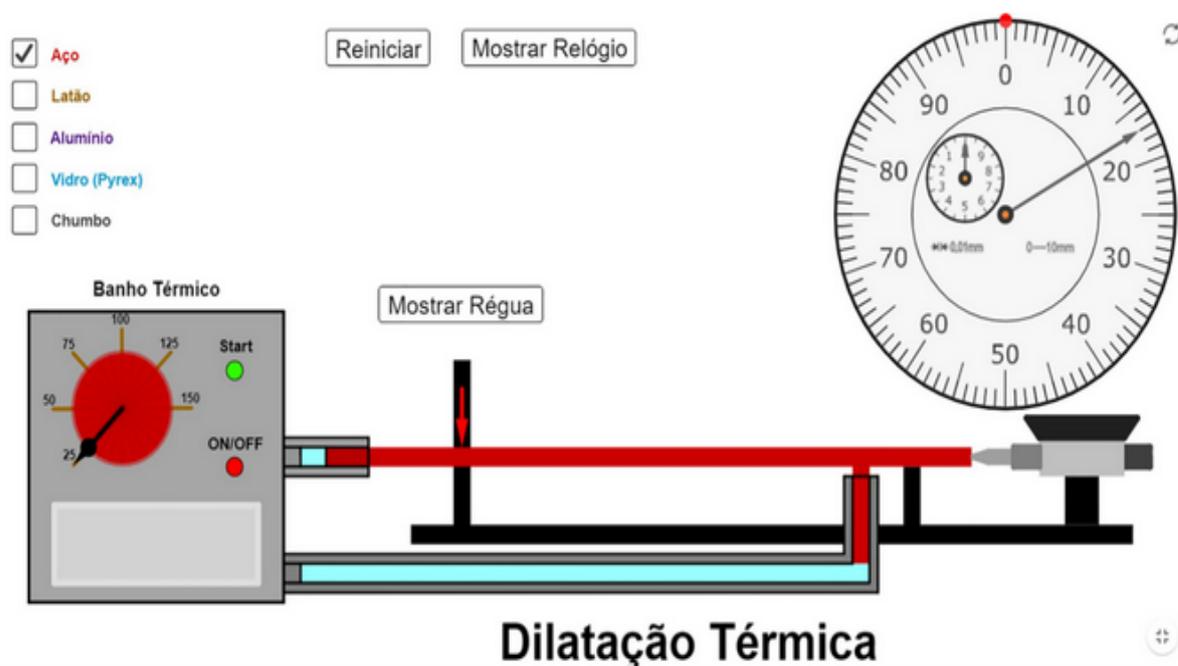


Fonte: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/termodinamica>. Acesso em 04 nov. 2023.

Essa simulação consiste em um dilatômetro linear que tem como base um Banho Térmico, sendo seu funcionamento o mais próximo possível do real. Na Figura 20, temos a

aparência da simulação após se escolher o material “Aço” e pressionar o botão “Mostrar Relógio”.

Figura 20 – Simulação do dilatômetro linear.



Fonte: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/dilatacao-termica>. Acesso em 04 nov. 2023.

Esse dilatômetro linear é composto por um aquecedor que prepara um banho térmico. O líquido, que é aquecido no Banho Térmico e que é representado pela cor azul claro, circula dentro de um dos tubos de amostra que são disponibilizados na simulação. Essa simulação ainda pode ser mostrada uma régua, a qual é usada para medir o tamanho do tubo usado, e um relógio comparador, ao qual é usado para medir a dilatação que o tubo sofreu após o procedimento. Na outra ponta, vai o sensor que interpreta a dilatação do material, onde o mesmo é comprimido quando ocorre ela. Assim, o relógio comparador se ativa e começa a medir de acordo com a compressão que o sensor sofre.

O experimento usando a simulação funciona da seguinte forma: primeiramente, o aluno irá escolher um dos tubos do material correspondente que o mesmo deseja ver a ação da dilatação. Após a escolha, o tubo irá ser colocado na região onde fica delimitada entre uma das saídas do banho térmico e pelo sensor de dilatação. Nisso, o aluno precisa usar a régua para medir o comprimento efetivo do tubo: ele começa na ponta do ponto fixo, onde é indicador por uma seta vermelha, vide Figura 20, e vai até o pino do sensor do relógio comparador, na extremidade direita do tubo. Em seguida o aluno deve visualizar o mostrador do relógio

comparador e verificar se o mesmo está zerado; caso não esteja zerado, o aluno deve zerá-lo. Após essa medição, o aluno já pode ligar o banho térmico e selecionar a temperatura final de aquecimento. Clicando no botão de *Start*, o banho térmico começa a ser feito, no qual, se fosse feito de forma real, o líquido já começaria a entrar no tubo, aquecendo-o. Quando a temperatura final for obtida, o aluno já pode observar o relógio comparador e ver quanto o tubo dilatou depois do procedimento. Caso a temperatura final seja menor do que a inicial, será visto um resfriamento e, portanto, se observará uma contração do tubo pelo relógio comparador.

No próximo capítulo, mostraremos o desempenho de alunos de algumas turmas de engenharia da Universidade federal do Ceará que realizaram a prática virtual sobre a dilatação térmica usando a simulação durante o afastamento social devido à pandemia de Covid-19 e compararemos com o desempenho de alunos de engenharia que fizeram a prática real correspondente depois do isolamento social.

5 ANÁLISE DO DESEMPENHO DOS ALUNOS

Tendo visto todos os conceitos anteriores da matéria necessários para entender a proposta de ensino que se dará mais a frente, foi feito um estudo inicial de comparação entre o uso do experimento real do dilatômetro linear com o experimento simulado do mesmo, que foi visto ao longo desse trabalho, usando relatórios corrigidos dos dois métodos. Esta comparação permeia uma análise dos dois métodos como forma de apresentar a matéria de dilatação térmica por princípios de equidade, ou seja, compará-los nos seus pontos fortes e nos seus pontos fracos, tanto de maneira quantitativa como de maneira qualitativa. Após isso, se dará a montagem da proposta de ensino.

5.1 Comparação entre as médias das notas

Inicialmente, será comparado as médias das notas dos alunos. Esse critério dará uma margem quantitativa entre as duas formas de abordar o experimento, tanto real como simulado. Para o experimento real, foram usados os relatórios de alunos do semestre 2023.1 do componente curricular Laboratório de Física Experimental para Engenharia, com o modelo de roteiro de práticas no Anexo A deste trabalho. E para o experimento com a simulação, foram usados os relatórios de alunos do semestre 2021.2 do mesmo componente curricular do anterior, com o modelo de roteiro de práticas no Anexo B.

Foram pegues 50 relatórios de alunos de cada componente curricular, desconsiderando os relatórios zerados por plágio total ou parcial. Para os 50 relatórios que usaram no procedimento prático o experimento real, a média das notas foi de 8,63, enquanto para os 50 relatórios que usaram no procedimento prático o experimento simulado, média foi de 7,98. Comparando essas médias, se percebe que há uma pequena diferença entre elas, que permeia a baixo de 10% do valor entre essas médias. Isso indica que os métodos são bem parelhos dependendo desse ponto de comparação.

5.2 Comparação entre as respostas das questões dos relatórios usados

Outro critério de comparação bastante pertinente entre os modelos usados são as respostas dos alunos das questões que os mesmos colocaram em seus devidos relatórios no Questionário. As questões semelhantes vão ser dispostas a seguir:

- a) Questão sobre a junta de dilatação em uma ponte, que no roteiro do experimento real (Anexo A) seria a segunda questão, e no roteiro do experimento simulado (Anexo B) seria a quarta questão.
- b) Questão da lamina bimetálica, que no roteiro do experimento real (Anexo A) seria a terceira questão, e no roteiro do experimento simulado (Anexo B) seria a quinta questão.
- c) Questão da mudança do período de um relógio de pêndulo, que no roteiro do experimento real (Anexo A) seria a quarta questão, e no roteiro do experimento simulado (Anexo B) seria a sexta questão.
- d) Questão sobre o Anel de Gravesande, que no roteiro do experimento real (Anexo A) seria a quinta questão, e no roteiro do experimento simulado (Anexo B) seria a sétima questão.

Comparar as respostas dessas questões entre os dois métodos usados de experimento pode trazer uma análise de como esses métodos podem interferir no entendimento da matéria pelos alunos. Portanto, foi contado a quantidade de respostas certas de cada questão, considerando como certa a questão que possuir pontuação de metade dela até o seu valor máximo. Essa consideração foi feita pelo fato de muitos dos pontos tirados pelos corretores são mais de organização da resposta, como formatação, falta de algo muito específico da questão, como figuras e fontes de pesquisa teórica; e isso não interfere diretamente no conhecimento do aluno sobre a matéria. Logo, questões com valores a baixo da metade do valor dela foram consideradas como erradas.

No item A, os alunos responderam com uma justificativa da necessidade de se colocar juntas de dilatação em uma ponte, sendo isso baseado nos resultados experimentais que eles acharam na prática. Das respostas observadas, 49 estavam corretas para o modelo de experimento real e 44 estavam corretas para o modelo de experimento usando a simulação.

No item B, os alunos responderam o que aconteceria com uma lamina bimetálica em um dia frio. Das respostas observadas, 48 estavam corretas para o modelo de experimento real e 46 estavam corretas para o modelo de experimento usando a simulação.

No item C, os alunos responderam com uma explicação do que ocorre ao período de um relógio de pêndulo com o aumento da temperatura, se o relógio de pêndulo passa a adiantar, atrasar ou permanece marcando as horas corretamente. Das respostas observadas, 48 estavam corretas para o modelo de experimento real e 46 estavam corretas para o modelo de experimento usando a simulação.

No item D, os alunos responderam sobre os fenômenos do experimento do Anel de Gravesande, como o que ocorreria se aquecesse o anel e não a esfera, e também o que aconteceria se aquecesse tanto o anel e a esfera. Das respostas observadas, 49 estavam corretas para o modelo de experimento real e 46 estavam corretas para o modelo de experimento usando a simulação.

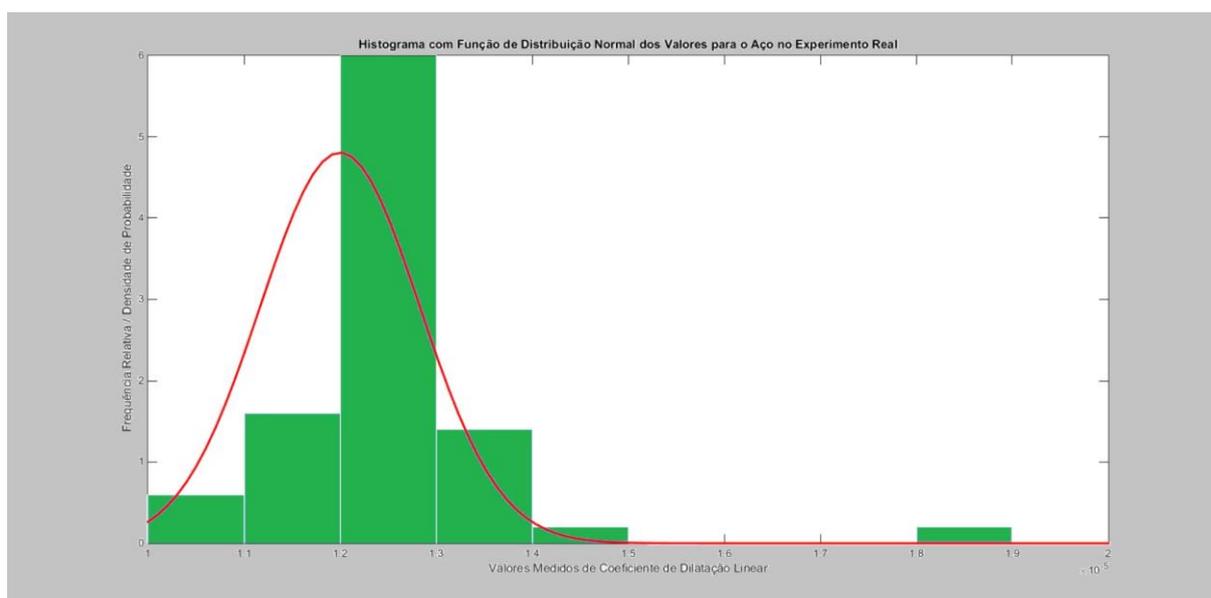
Portanto, com base nesses valores quantitativos dos acertos dessas questões, vê que os experimentos usados são bem parelhos, já que seus valores foram bem próximos. Logo, não há tanta diferença no entendimento teórico do assunto acerca do uso de um dos métodos.

5.3 Comparação entre os valores do coeficiente de dilatação térmica

Em cada roteiro de prática, se teve uma parte do procedimento que seria o cálculo do coeficiente de dilatação térmica linear usando os valores encontrados no experimento do dilatômetro real para um roteiro e do dilatômetro simulado em outro. Esses valores foram computados e montados diagramas com função de distribuição normal neles. Esses gráficos foram montados também com a limitação do valor encontrado na literatura desses coeficientes, que se encontra na Tabela 1 deste trabalho.

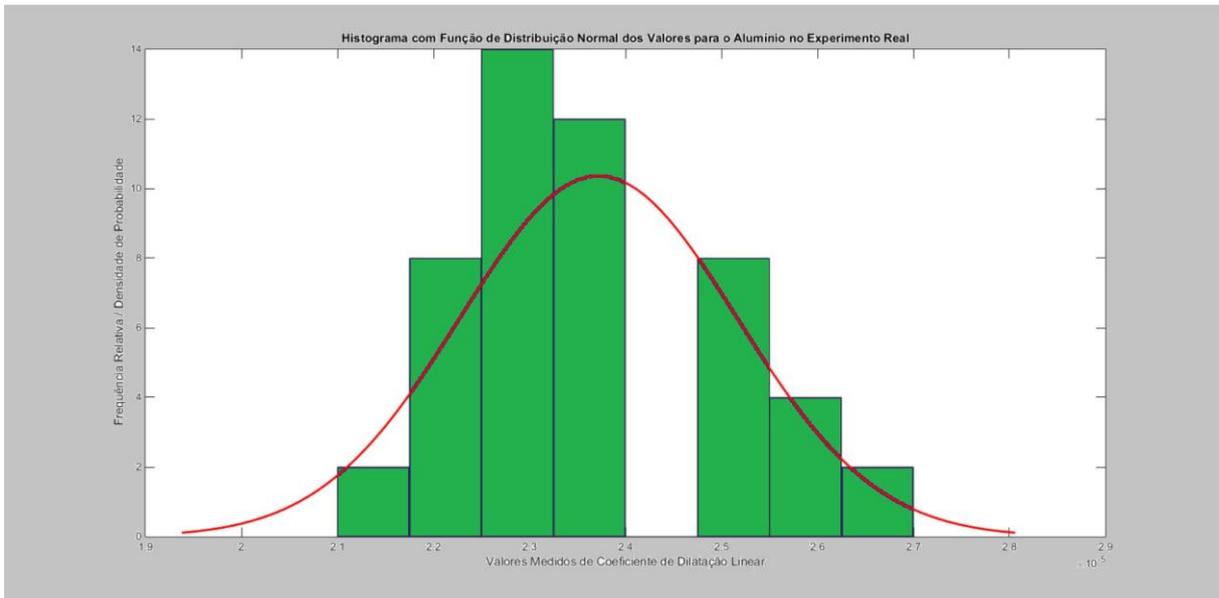
Para o coeficiente de dilatação térmica linear do aço e do alumínio no experimento do dilatômetro real, se tem os Gráficos 1 e 2:

Gráfico 1 – Diagrama para o experimento real do aço.



Fonte: Elaborado pelo autor.

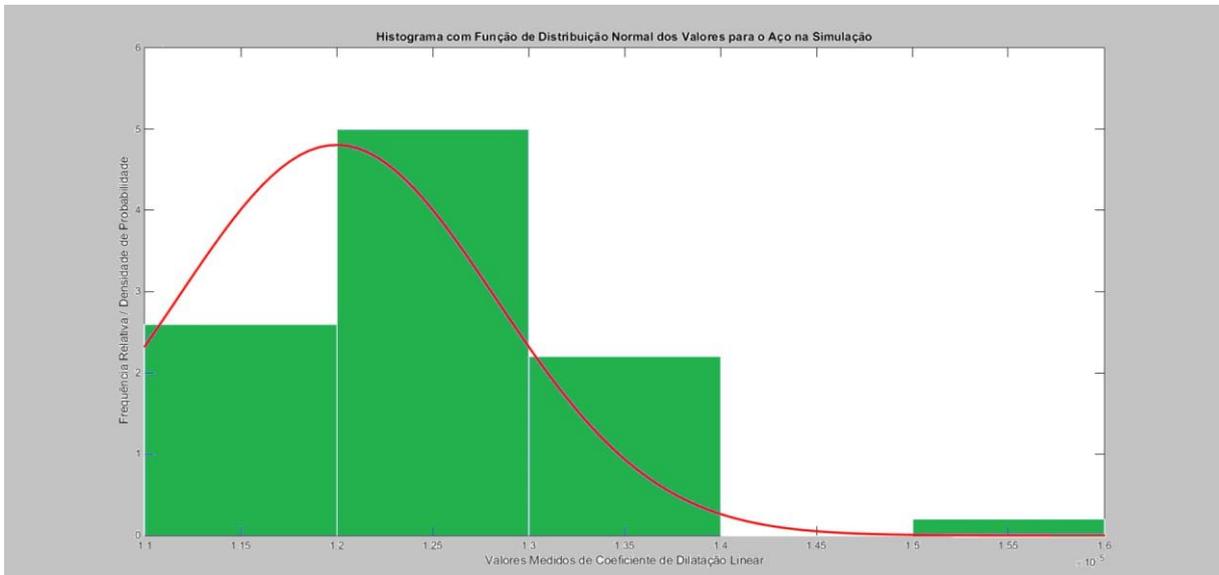
Gráfico 2 – Diagrama para o experimento real do alumínio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

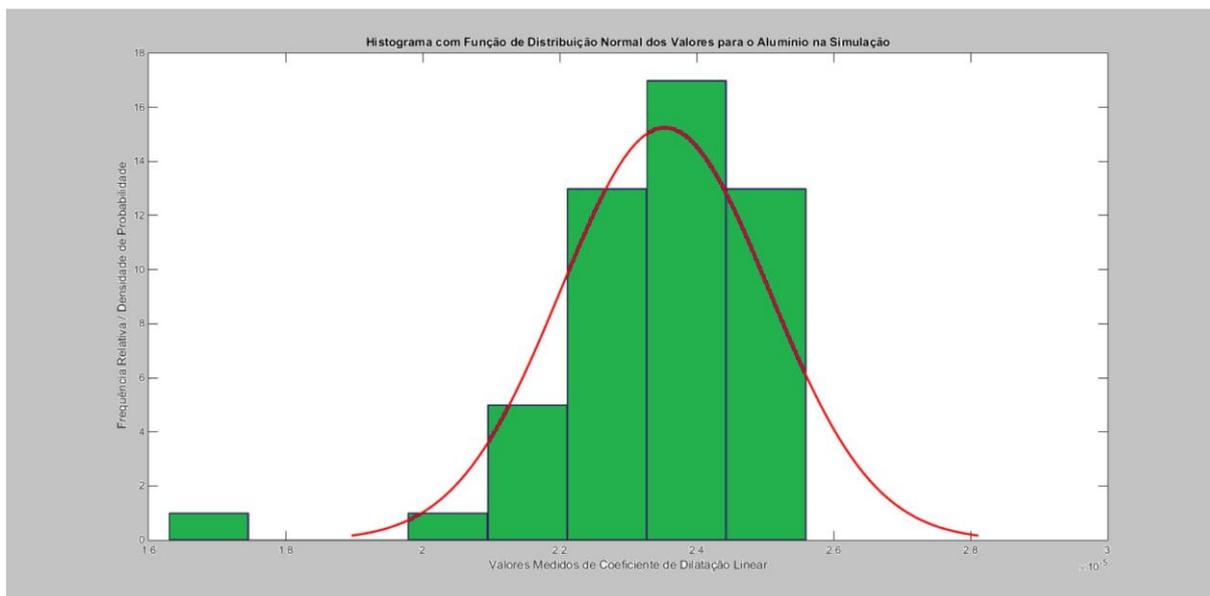
Para o coeficiente de dilatação térmica linear do aço e do alumínio no experimento do dilatômetro simulado, se tem os Gráficos 3 e 4:

Gráfico 3 – Diagrama para o experimento simulado do aço.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 4 – Diagrama para o experimento simulado do alumínio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Um ponto a se ressaltar é a configuração dos diagramas. No experimento real é natural se esperar uma distribuição de valores em torno da média, entretanto, ao se usar uma simulação, poderia se esperar sempre o mesmo valor para uma determinada amostra. Na simulação cabe ao aluno verificar inicialmente se o relógio comparador está zerado. Se o aluno não zerar o relógio comparador, irá obter um resultado bastante diferente do esperado. Isso aconteceu em alguns casos, como mostra os Gráficos 3 e 4. Também, cabe ao aluno fazer as leituras do relógio comparador a medida que a amostra se dilata. Neste ponto cada aluno pode fazer uma estimativa diferente do algarismo duvidoso, levando a uma distribuição de valores do coeficiente de dilatação térmica. Até neste ponto a simulação se assemelha ao experimento real.

5.4 Analisando os resultados das comparações

Pelo que foi visto dos resultados achados das comparações feitas das formas dos métodos usados, se observou uma evidente equiparação desses métodos.

Nos três tipos de comparações, todas elas mostraram valores de teste muito próximos. No caso da média das notas dos alunos, a diferença ficou por volta 0,70, o que equivale a 8,11% da média das notas dos relatórios do experimento real, e 8,82% da média das notas dos relatórios do experimento simulado. No caso da quantidade de questões comuns acertadas no questionário, os valores também ficaram muito próximos, tendo entre 4,17% a

10,20% de questões acertadas a mais de diferença entre elas. E por último, com os gráficos dos valores de coeficiente de dilatação térmica linear, também se observou uma aproximação boa com o valor achado na literatura, para os dois métodos. Isso conclui, de forma quantitativa, que eles são bem parelhos, podendo usa-los perfeitamente para aulas sobre o assunto.

No entanto, falta fazer a comparação qualitativa. Ela vem da forma como os experimentos foram feitos pelos alunos. Logo, a subjetividade dessa comparação é bem grande, a qual é melhor feita ao observar os possíveis erros que os alunos podem ter tido ao manusear cada experimento.

No caso do experimento real, os alunos estão muito mais propensos a erros de paralaxe e montagem malfeita do experimento. Por isso, há a necessidade intrínseca do supervisor do laboratório ficar com atenção redobrada dos alunos quando eles estiverem fazendo o experimento. No entanto, essa dificuldade também vem junto da melhor estratégia que o experimento real pode proporcionar: o aproveitamento real de como o fenômeno físico acontece de forma natural, pois o aluno quando ver algo errado na montagem do experimento, o mesmo corrige ele na hora que aprende de maneira direta o funcionamento daquele aparelho, tendo experiência de estudo para próximos laboratórios parecidos.

Já em relação ao experimento simulado, acontece algo invertido do que foi visto do experimento real. Como o experimento é feito usando uma simulação do dilatômetro linear, ele diminui muito os problemas com erros de paralaxe, pois as medidas são bem nítidas na simulação para poder serem lidas de forma correta, e a montagem do experimento é quase que automática, precisando só trocar o material usado, ligar o experimento e usar os medidores, como régua e relógio comparador. Isso é devido a simulação ser programada para esse fim, pois a mesma, como já foi visto antes, tende a se aproximar o máximo do que aconteceria num experimento real. Porém, como o experimento simulado não traz um maior rigor para montá-lo, deixa o aluno mais distante daquilo que já foi visto antes no experimento real: o aproveitamento real do fenômeno físico estudado.

Essas diferenças não devem ser vistas como formas de um método ser melhor do que o outro, e sim de que cada um tem seu devido propósito. No caso do experimento real, se percebe seu melhor refinamento para o desenvolvimento das habilidades cognitivas dos alunos, pois ele tem um aproveitamento real do fenômeno físico. Mas a simulação pode muito bem ter seu lugar de uso, que foi justamente o período dos relatórios usados com este experimento: a pandemia causada pelo Covid-19.

Como o experimento simulado só tem a necessidade de um aparelho digital que usa um navegador de internet para poder acessá-lo, ele se tornou uma boa ferramenta nesse período

conturbado da humanidade. Os alunos fizeram seus laboratórios normalmente, tendo as devidas mudanças no seu roteiro de práticas para melhor se equiparar de forma pedagógica ao do experimento real. Além do mais, visto que o experimento simulado se mostrou bastante contundente na sua finalidade, foi perceptível que se poderia abrangê-la para mais grupos de estudos, como os alunos da rede básica de ensino.

Como as escolas brasileiras, em sua grande maioria, não podem ter laboratórios completos como os das universidades brasileiras, a proposição de formas de ensino usando simulações nesses ambientes com falta de laboratórios pode ser bastante receptível. Logo, a formulação de propostas de ensino baseados no uso dessas simulações chega a ser necessárias e é nesse âmbito que esse trabalho se baseia, tendo no próximo capítulo a montagem de uma proposta de ensino permeando a dilatação térmica em específico, usando a simulação do dilatômetro linear.

6 A PROPOSTA DE ENSINO

Inicialmente, uma proposta de ensino precisa ser um modelo que estabelece os princípios, objetivos, metodologias, recursos e estratégias que guiam o processo educacional em uma instituição de ensino ou em um determinado curso. Suas principais características podem variar dependendo do nível de ensino e da abordagem pedagógica, mas geralmente incluem os seguintes elementos: objetivos educacionais, metodologia de ensino, avaliação da aprendizagem, recursos e materiais didáticos, alinhamento com diretrizes educacionais e flexibilidade da proposta. Portanto, este trabalho, a Proposta de Ensino de Dilatação Térmica Linear Utilizando Simulação, também deve seguir essas mesmas características principais.

6.1 Objetivos educacionais

Os objetivos educacionais de uma proposta de ensino de física podem variar dependendo do nível de ensino e do currículo específico. Como essa proposta é baseada no ensino de dilatação térmica, mais específico na prática em que se usa a simulação do dilatômetro linear, todo o seu conteúdo pode ser direcionado aos alunos do ensino médio. Sendo assim, os objetivos da Proposta de Ensino de Dilatação Térmica Linear Utilizando Simulação são:

- a) Compreensão dos conceitos fundamentais da dilatação térmica, como o entendimento que a matéria pode comprimir e dilatar de acordo com a variação da temperatura, baseado no coeficiente de dilatação térmica;
- b) Aplicação dos princípios físicos, como a aplicação das fórmulas gerais e específicas para a dilatações térmica;
- c) Desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico, ou seja, os alunos devem desenvolver a criticidade para o uso do método científico no conteúdo de dilatação térmica;
- d) Estimular o interesse e a apreciação pelo assunto de dilatação térmica nos alunos. Isso é direcionado a aplicação da simulação do dilatômetro linear, já que o uso do mesmo se mostra lúdico e dinâmico em relação ao próprio assunto da proposta.

Esses objetivos vão sendo verificados ao longo da exposição da proposta de ensino e visto como baseados nas diretrizes da própria BNCC (Base Nacional Comum Curricular).

6.2 Metodologia de ensino

A abordagem pedagógica que será adotada para promover a aprendizagem dos alunos sobre a matéria de dilatação térmica se baseia no uso de uma aula prática ou laboratorial usando uma simulação do experimento do dilatômetro linear que foi mostrado nos capítulos anteriores.

O método usado na proposta de ensino será o tradicional. Inicialmente, o aluno deverá ter um contexto primário sobre o assunto de dilatação térmica, onde o mesmo irá ver a matéria de forma geral, como foi demonstrado no Capítulo 2 desse trabalho, vendo a ideia de como o conceito de dilatação térmica funciona teoricamente e percebendo como as fórmulas que ele irá usar posteriormente se aplicam ao contexto do uso da simulação, principalmente quando for calcular o coeficiente de dilatação térmica linear. Na aplicação da simulação, o aluno pode seguir um roteiro de práticas, como o do Anexo B.

6.3 Avaliação da aprendizagem

Na avaliação dos resultados obtidos pelos alunos, o professor pode usar como principal indicação de obtenção de êxito ou precisão de como eles fizeram a prática da proposta de ensino a determinação do erro relativo que compara o valor do coeficiente de dilatação térmica linear experimental com o valor da mesma constante encontrada na literatura. O Anexo B possui exemplos de como fazer isso no capítulo Questionário. Durante a parte prática da aula, de maneira qualitativa, o professor também pode verificar se os alunos estão entendendo o uso da simulação com o que foi dado no contexto teórico da matéria.

6.4 Recursos e materiais didáticos, alinhamento com diretrizes educacionais e flexibilidade da proposta de ensino

A proposta de ensino de dilatação térmica linear utilizando simulação necessita de recursos e materiais como qualquer outra forma de ensino ou método de aprendizagem. No caso específico, o uso da simulação é imprescindível, ao qual pode ser feito com a aplicação das TIC voltadas a seu âmbito: computadores, celulares, *tablets*, notebooks, dentre qualquer outro dispositivo que possa acessar a simulação de forma remota no site do Laboratório Virtual de Física da UFC.

Além das TICs, há materiais didáticos que o professor pode usar na apresentação teórica da matéria relacionada a proposta de ensino, como livros e apostilhas de física, mais relacionados a matéria de termodinâmica, onde o ensino de dilatação térmica se encontra.

Em relação as diretrizes educacionais, a proposta de ensino obedece de forma íntegra os paradigmas que a BNCC propõe para o ensino médio, ao qual é voltada de modo específico dentro das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, conforme determinada na LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional).

As particularidades da proposta de ensino lhe fazem ter direcionamento a certas habilidades que fazem parte de algumas competências específicas da BNCC. Isso é devido à forma pragmática da proposta de ensino, ao qual só se absteve ao campo da aplicação laboratorial. No entanto, nas considerações finais da conclusão deste trabalho, será visto que o mesmo pode ser ampliado para mais aplicações na aprendizagem, podendo ser obtido em trabalhos futuros.

Como dito antes, a proposta de ensino pode ser modelada a outras aplicações na aprendizagem, com um uso variado de métodos de ensino, como o ensino por investigação e a aprendizagem significativa, por exemplo. Isso traz a proposta de ensino uma flexibilidade versátil na sua utilização, sendo modificada de acordo com a aplicação do método de ensino usado.

6.5 Plano de aula

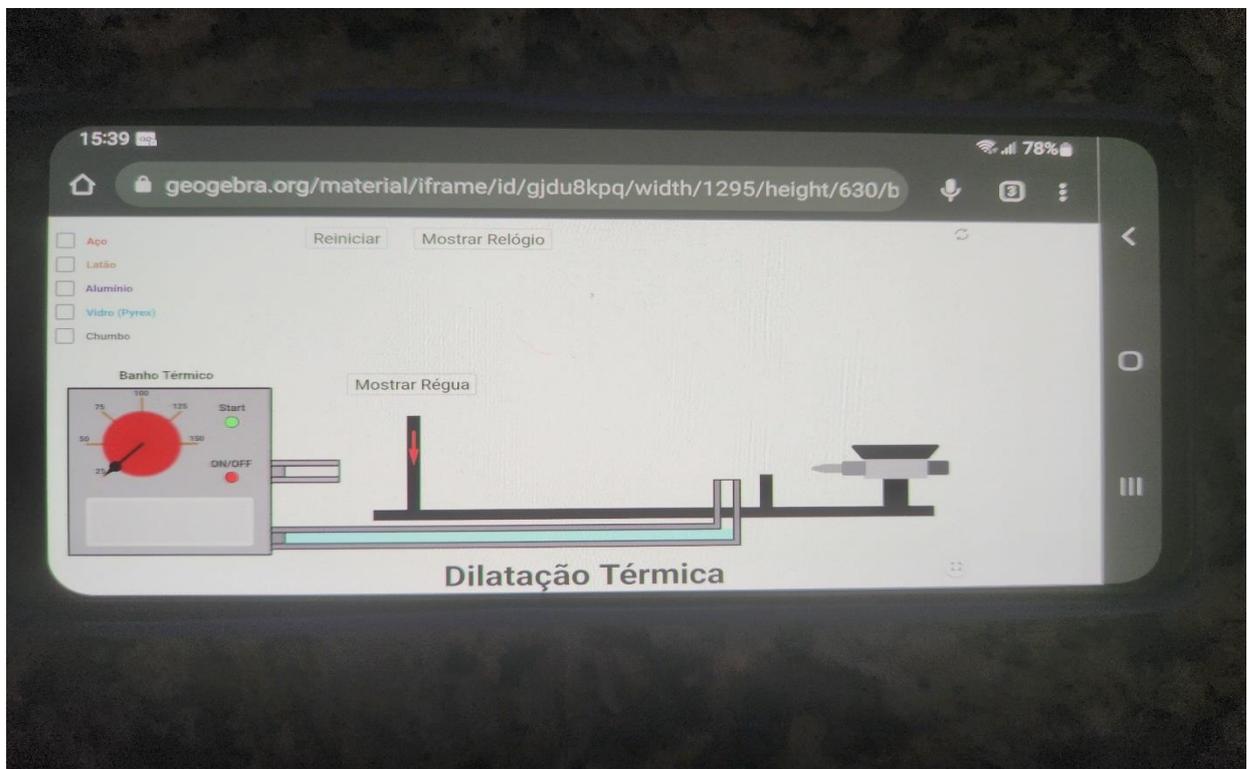
Após a caracterização dos elementos da proposta do ensino, se pode ser montado um plano de aula baseado no ensino que será dado sobre a matéria, que no caso terá nível de ensino básico, mais especificamente no ensino médio das escolas brasileiras.

Este plano de aula está disposto no Apêndice A, a qual foi construído baseado, como foi dito antes, nos elementos evidenciados da proposta de ensino. Ele possui sua estrutura resumida, para um melhor entendimento dos profissionais que forem usá-lo. Objetivos sucintos, desenvolvimento direto, com recomendação do tempo dado para cada parte dele. A Avaliação feita com critérios qualitativos e quantitativos.

7 CONCLUSÃO

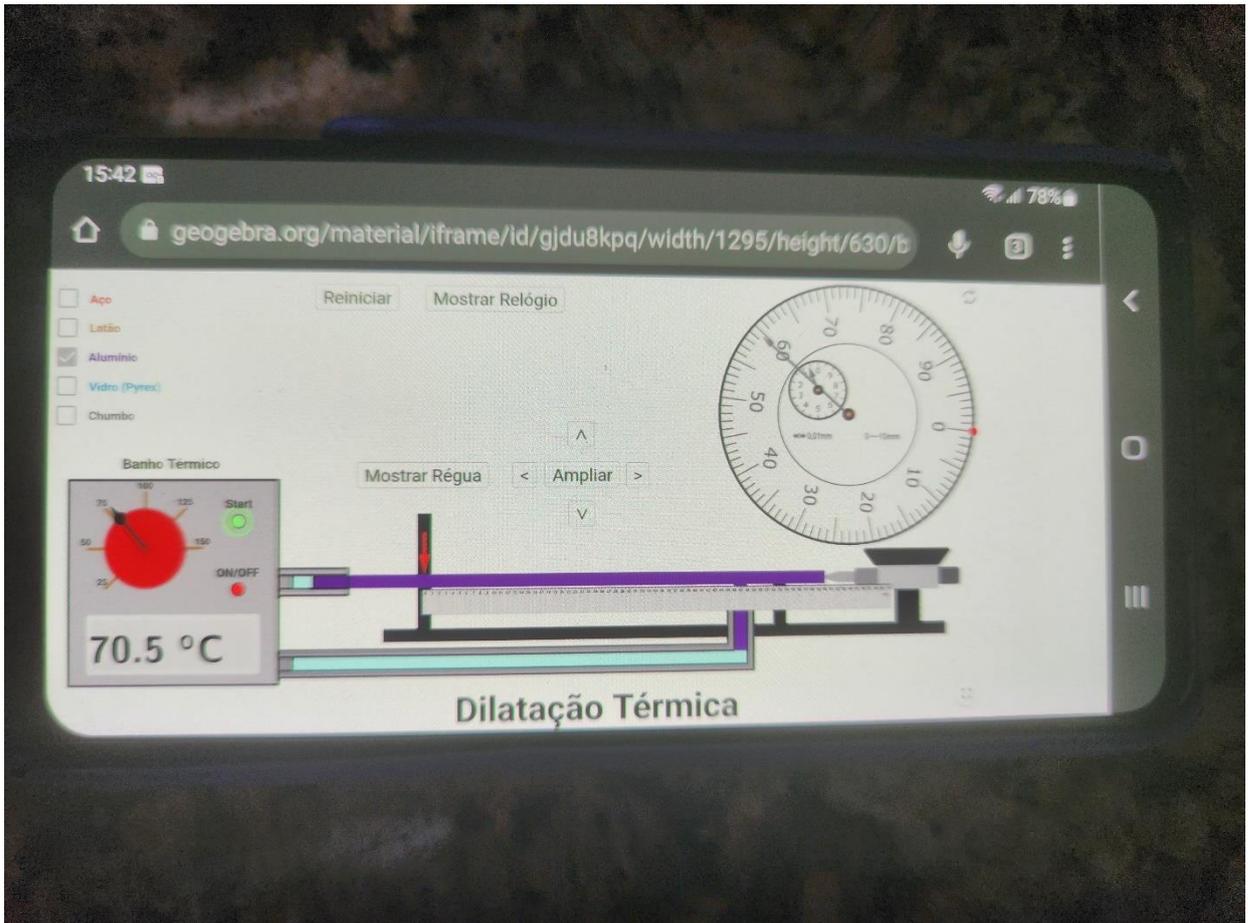
A proposta de ensino de dilatação térmica linear utilizando simulação se mostrou bastante eficaz no seu critério de aprendizagem principal. O contexto das simulações demonstrou uma eficácia com relação ao foco que essa proposta de ensino se voltou. No Capítulo 4, se viu exemplos de outras simulações de outros assuntos de física, onde se percebia a versatilidade do seu uso dentro do ensino de física. No caso específico da simulação da proposta de ensino, ela foi avaliada em critérios mais específicos, como sua forma de aplicação mais simplificada. A simulação pode ser acessada gratuitamente no site do Laboratório Virtual de Física da Universidade Federal do Ceará, tendo como meio digital de acesso um dispositivo móvel, como um celular. Isso facilita muito a aplicação da mesma em uma aula prática comum em qualquer escola brasileira de ensino médio, sendo pública ou particular. Logo a seguir, se terá um exemplo de dispositivo móvel acessando o site, um celular da marca coreana *Samsung*, modelo S10e, de 2019, pelo navegador *Google Chrome*.

Figura 21 – Foto do celular S10e acessando a simulação.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 22 – Foto do celular S10e acessando a simulação e a aplicando.



Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação a precisão, foi visto que a proposta de ensino conseguiu ser tão bem precisa nos dados que podem coletar como no seu modelo usando o experimento real.

Por fim, a proposta de ensino de dilatação térmica linear utilizando simulação também tem uma característica de flexibilidade, como foi visto antes. Sua aplicação não demanda somente no modelo tradicional de ensino. Ela pode ser muito bem aplicada em outros modelos, como o modelo construtivista. A aprendizagem por investigação e a aprendizagem significativa são exemplos de práticas de ensino que seguem esse modelo. A aprendizagem por investigação é feita na elaboração e teste de hipóteses, seja por meio da experimentação, que seria o caso da proposta de ensino, ou seja por meio da pesquisa. Já a aprendizagem significativa é um processo a qual os novos conhecimentos que se adquirem se relacionam com o conhecimento prévio que se tem sobre o assunto, a qual os alunos teriam essa interação ao testar a simulação.

Logo, se percebi que existe várias maneiras de se aplicar a simulação nas práticas de ensino construtivistas, podendo melhorar ainda mais a proposta de ensino. Essas adequações

ou mudanças podem ser feitas em futuros trabalhos baseados nesta proposta de ensino, as quais podem ser futuramente usados para uma melhoria do ensino de física de forma geral.

REFERÊNCIAS

3B SCIENTIFIC. Experiment: thermische ausdehnung fester Körper (230 V, 50/60 Hz). Disponível em: http://www.3bscientific.com/de/experiment-thermische-ausdehnung-fester-koerper-230-v-5060-hz-8000577-ue2010130-230-3b-scientific,p_1413_28052.html. Acesso em: 04 nov. 2023.

AUTO ESCOLA CASA GRANDE. Simulador de direção. Autoescola Casa Grande. Disponível em: <https://www.autoescolacasagrande.com.br/simulador-de-direcao/>. Acesso em: 26 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#estrutura>. Acesso em: 05 out. 2023.

DIAS, N. L. Dilatação Térmica. **Laboratório Virtual de Física da Universidade Federal do Ceará**: simulações interativas para o ensino de física, 2023. Disponível em: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/materiais-termodinamica>. Acesso em: 29 out. 2023.

DIAS, N. L. Dilatação Térmica. **Laboratório Virtual de Física da Universidade Federal do Ceará**: simulações interativas para o ensino de física, 2023. Disponível em: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/>. Acesso em: 04 nov. 2023.

DIAS, N. L. Dilatação Térmica. **Laboratório Virtual de Física da Universidade Federal do Ceará**: simulações interativas para o ensino de física, 2023. Disponível em: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/termodinamica>. Acesso em: 04 nov. 2023.

DIAS, N. L.; CASTRO, G. S. Dilatação Térmica. **Laboratório Virtual de Física da Universidade Federal do Ceará**: simulações interativas para o ensino de física, 2023. Disponível em: <https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/dilatacao-termica>. Acesso em: 04 nov. 2023.

ELÍSIO. **Dilatação Linear**. Elísio Física. Disponível em: <http://elisiofisica.blogspot.com/2010/12/dilatacao-linear.html>. Acesso em: 05 out. 2023.

ENERGY FORMS AND CHANGES. Intro. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes-900-alt1.png>. Acesso em: 02 nov. 2023.

ENERGY FORMS AND CHANGES. Intro. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes-900.png>. Acesso em: 02 nov. 2023.

FRANCISCO BOCAFOLI. Dilatometria. Física e Vestibular, aulas práticas de física. Disponível em: <https://fisicaevestibular.com.br/novo/fisica-termica/dilatometria/>. Acesso em: 05 out. 2023.

GAS PROPERTIES. Diffusion. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties-900-alt2.png>. Acesso em: 02 nov. 2023.

GAS PROPERTIES. Energy. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties-900-alt2.png>. Acesso em: 02 nov. 2023.

GAS PROPERTIES. Ideal. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties-900.png>. Acesso em: 02 nov. 2023.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE. Edson José. Tabela: Coeficiente de dilatação linear de alguns materiais. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/edsonjose/disciplinas/fisica-ii-licenciatura-em-quimica-1/tabela-coeficiente-de-dilatacao-linear-de-alguns-materiais/view>. Acesso em: 13 out. 2023.

MORS, P. M. **Dilatação térmica**: uma abordagem matemática em física básica universitária. São Paulo: Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 38, n. 1, p. 1701, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/WbSyqTSzmqY7bYmcBgTppVK/?format=html&lang=pt#>. Acesso em: 13 out. 2023.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica**: fluidos, oscilações e ondas, calor. 5 ed. São Paulo: Blucher, 2014, p. 200-202.

PASCUAL, J. G. **Autonomia intelectual e moral como finalidade da educação contemporânea**. Psicologia: ciência e profissão, Brasília, v. 19, n. 3, p. 2-11, 1999. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-98931999000300002&lng=pt&nrm=iso. Acesso em 08 out. 2023.

PROF. FABIANO MEIRA. Laboratório virtual de Mecânica dos Fluidos/Hidráulica. Youtube. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Pi7O4EYLB_s&ab_channel=Prof.FabianoMeira. Acesso em: 15 out. 2023.

REDAÇÃO DE VIDA E AÇÃO. Termômetro de mercúrio tem venda proibida no Brasil. Vida e ação. Disponível em: <https://www.vidaeacao.com.br/termometro-de-mercurio-tem-venda-proibida-no-brasil/>. Acesso em: 05 out. 2023.

ROSA, M. P. A.; GROTO, E. M. B. **Ensino de Química**: uma proposta didática mediada pelas TICs. Revista de Ciências Humanas, v. 9, n. 13, p. 79-98, 2008. Disponível em: <http://www.revistas.fw.uri.br/index.php/revistadech/article/view/388>. Acesso em: 14 out. 2023.

STEFANELLI, E. J. Relógio Comparador Virtual – Simulador em milímetro centesimal. Eduardo J. Stefanelli. Disponível em: <https://www.stefanelli.eng.br/relogio-comparador-virtual-simulador-milimetro/>. Acesso em: 29 out. 2023.

TEC-SCIENCE. Animation: Influence of temperature on particle motion and thermal expansion. Disponível em: <https://www.tec-science.com/thermodynamics/temperature/temperature-and-particle-motion/>. Acesso em: 04 nov. 2023.

TENENTE FELIPE BUENO; TENENTE-CORONEL SANTANA. FAB Inaugura novo sistema de simulador de voo para instrução dos Cadetes Aviadores. Força Aérea Brasileira.

Disponível em: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/35997/ENSINO%20-%20FAB%20inaugura%20novo%20sistema%20de%20simulador%20de%20voo%20para%20instru%C3%A7%C3%A3o%20dos%20Cadetes%20Aviadores>. Acesso em: 26 out. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. Anel de Gravesande. Physics Virtual Museum. Disponível em: <https://physicsvirtualmuseum.ufop.br/thermodynamics/anel-de-Gravesande.html>. Acesso em: 05 out. 2023.

UPTODOWN. Truck Simulator: Ultimate. Uptodown. Disponível em: <https://truck-simulator-ultimate.br.uptodown.com/android>. Acesso em: 26 out. 2023.

APÊNDICE A – PLANO DE AULA

1. IDENTIFICAÇÃO

Professor:	Disciplina: Física	Tema: Dilatação térmica linear.
Data:	Horário: 50 min.	

2. PLANO

OBJETIVOS		CONTEÚDOS	RECURSOS
GERAL	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apresentar ao aluno o funcionamento da dilatação térmica linear usando simulação. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Introdução; ✓ Dilatação térmica linear; 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Notebook ou computador de mesa; ✓ Pincel; ✓ Lousa; ✓ Notas de Aula; ✓ Data Show.
ESPECÍFICOS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Definir conteúdo teórico inicial sobre a dilatação térmica linear; ✓ Demonstrar o funcionamento da simulação; ✓ Calcular o coeficiente de dilatação térmica linear dos materiais pedidos. 		

3. PROCEDIMENTOS

INTRODUÇÃO	DESENVOLVIMENTO	CONCLUSÃO
<ul style="list-style-type: none"> ✓ A aula começará com uma introdução teórica do conteúdo de dilatação térmica linear (10 min). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apresentar a simulação do dilatômetro linear (5 min); ✓ Apresentar o roteiro de aplicação da simulação (5min); ✓ Aplicar o roteiro aos alunos para os mesmos resolverem ele usando a simulação (15 min). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aplicar um questionário básico com questões de comparação dos valores (10 min); ✓ Revisão dos pontos principais da matéria (5 min).

4. AVALIAÇÃO

- ✓ Avaliação contínua e processual através da observação, da participação e do interesse na realização das atividades propostas (Avaliação qualitativa);
- ✓ Conferir o questionário feito pelos alunos, afim de observar se os mesmo souberam usar a simulação para calcular os valores medidos (Avaliação quantitativa).

5. INDICAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

Nussenzveig, H. M.. Curso de Física Básica 2 – Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor. Edgard Blucher, 4 edição, 2002. ISBN.

Halliday, D., Resnick, R., Krane, K.S., Física. V. 2, Rio de Janeiro: LTC Ltda, 1992.

ANEXO A – ROTEIRO DE PRÁTICAS DO EXPERIMENTO REAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ DEPARTAMENTO DE FÍSICA LABORATÓRIO DE FÍSICA PARA ENGENHARIA

PRÁTICA 8: DILATAÇÃO TÉRMICA

Prof. Nildo Loiola Dias

8.1 OBJETIVOS

- Determinação do coeficiente de dilatação linear de sólidos.
- Verificar o comportamento de uma lâmina bimetálica.

8.2 MATERIAL

- Dilatômetro;
- Tubos ocos de: aço, latão e alumínio;
- Relógio comparador;
- Kitasato;
- Termômetro;
- Lâmina bimetálica;
- Fita métrica;
- Luvas térmicas;
- Fogareiro elétrico.

8.3 FUNDAMENTOS

Um corpo ou uma substância ao absorver calor, aumenta sua energia interna e consequentemente aumenta sua temperatura. As moléculas que formam o corpo ou substância aumentam seu grau vibracional ocupando um volume maior. O aumento observado das dimensões de um corpo com o aumento da temperatura é denominado de dilatação térmica.

O dilatômetro linear, Figura 8,1, é um aparelho ou dispositivo utilizado especialmente para a determinação do coeficiente de dilatação linear de sólidos em forma de “tubos”. Consta de uma base, duas hastes fixadas na base sobre as quais se apóia o tubo oco do material cujo coeficiente de dilatação se pretende determinar (na Figura 8.2 os três tubos de materiais diferentes, cujos coeficientes de

dilatação linear serão determinados nesta prática); uma terceira haste, também fixa na base, serve de sustentação para o relógio comparador, Figura 8.3, que deve ser fixado tocando a extremidade do tubo oco.

Figura 8.1 – Dilatômetro linear.



Fonte: o autor.

Figura 8.2 – Tubos metálicos de diferentes materiais.



Fonte: o autor.

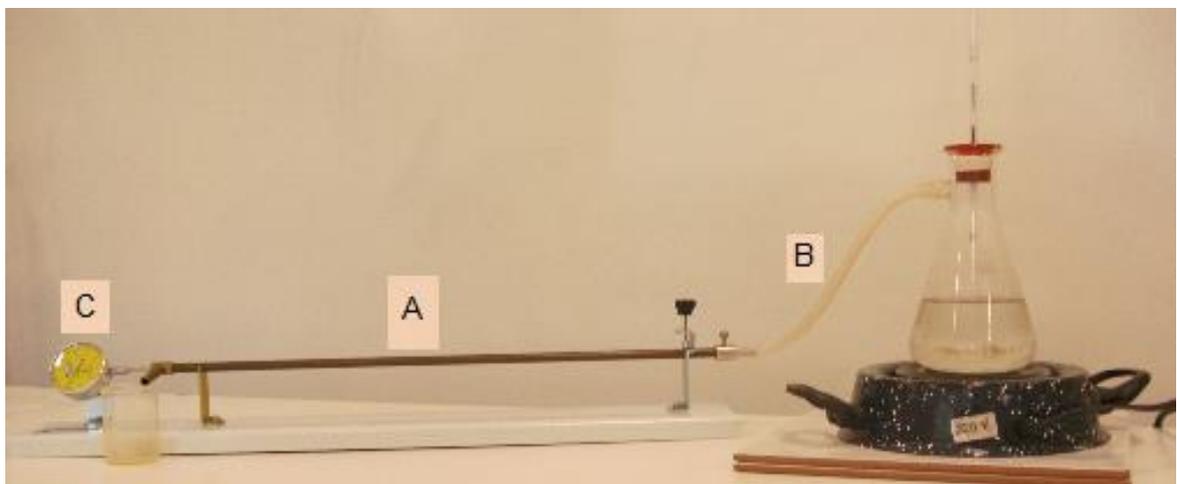
Figura 8.3 – Relógio comparador.



Fonte: o autor.

Na Figura 8.4 está mostrado o dilatômetro linear montado com o sistema de aquecimento constituído por um fogareiro elétrico, um kitasato contendo água e pedrinhas para facilitar a formação de bolhas de vapor durante a ebulição; o tubo da substância metálica, cujo coeficiente de dilatação se quer determinar, A, é aquecido pelo vapor d'água (conduzido por um tubo de borracha B), que percorre seu interior e com o qual se põe em equilíbrio térmico. Ao ser aquecido, o tubo oco do material em estudo se dilata e pressiona o relógio comparador, C, que registra a dilatação ΔL .

Figura 8.4 – Dilatômetro linear montado com sistema de aquecimento.



Fonte: o autor.

Sabemos que a dilatação ΔL é dada por:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta t \quad (8.1)$$

α = é o coeficiente de dilatação linear do material.

L_0 = é o comprimento do tubo, à temperatura inicial.

Δt = é a variação de temperatura do tubo.

Assim, a expressão do coeficiente de dilatação linear (α) procurado será:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta t} \quad (8.2)$$

Onde no nosso caso:

L_0 = **(não é o comprimento total do tubo)** é o comprimento, à temperatura inicial, da porção do tubo considerada na dilatação, isto é, o comprimento do tubo entre o ponto de fixação, na haste próxima à extremidade do mesmo por onde se dá a entrada do vapor de água e a extremidade fechada que toca o relógio comparador.

$\Delta t = t' - t$ = Variação de temperatura do tubo, onde t' é a temperatura medida do vapor de água e t a temperatura inicial (temperatura ambiente).

ΔL = Variação do comprimento do tubo medido no relógio comparador (dilatação do tubo).

INDICAÇÃO DE MATERIAL PARA ESTUDO COMPLEMENTAR:

Filme sobre o comportamento de uma lâmina bimetálica ao ser aquecida:

<https://www.youtube.com/watch?v=5FeNbSG9sDE>

Animação para exercitar a leitura de um relógio comparador:

<https://www.stefanelli.eng.br/relogio-comparador-virtual-simulador-milimetro/>

Link de uma simulação sobre o assunto:

<https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/dilatacao-termica>

9.4 PROCEDIMENTOS

PROCEDIMENTO 1: DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DILATAÇÃO.

- 1- Monte a experiência conforme indica a Figura 8.4. Tomando as seguintes precauções:
 - 1.1 Suspenda o tubo escolhido nas hastes de sustentação do dilatômetro.
 - 1.2 Fixe o tubo na haste próxima à entrada de vapor de água e **deixe a outra extremidade livre para mover o pino do relógio comparador.**
 - 1.3 Verifique se o relógio comparador está fixado na terceira haste de modo que o mesmo toque a extremidade fechada do tubo oco. Lembre-se de zerar o relógio comparador antes de iniciar o aquecimento. Para isto gire o mostrador do relógio até que o “zero” coincida com a posição do ponteiro.
 - 1.4 Posicione a saída lateral do tubo inclinada para baixo. Isso facilitará a saída de água que eventualmente venha a se condensar dentro do tubo. Coloque um recipiente para receber a água eventualmente condensada no tubo.

- 2- Meça o comprimento L_0 , à temperatura inicial, da porção do tubo considerada na dilatação (comprimento do tubo entre o ponto de fixação, na haste próxima a extremidade do mesmo por onde se dá a entrada do vapor de água e a extremidade fechada que toca o relógio comparador). Anote na Tabela 8.1.

- 3- Anote a temperatura inicial, t (temperatura ambiente).

- 6- Quando o ponteiro estacionar e estiver saindo vapor pela saída lateral do tubo oco, anote a temperatura final, t' (temperatura do vapor d'água) e a medida da dilatação, ΔL (medida do relógio comparador). A leitura do relógio comparador deve ser anotada até a segunda casa decimal em milímetros.

- 7- Repita o procedimento para os outros tubos. **Tenha cuidado ao trocar as amostras, pois a temperatura pode estar elevada e provocar queimaduras. Utilize as luvas térmicas.**

- 8- Indique na Tabela 8.1 as unidades utilizadas.

Tabela 8.1 - Resultados experimentais.

MATERIAL	L_0 ()	t ()	t' ()	ΔL (mm)	α ()
ALUMÍNIO					
LATÃO					
AÇO					

9- Determine o coeficiente de dilatação linear, de cada material fornecido.

Aço

Alumínio

Latão

PROCEDIMENTO 2: COMPORTAMENTO DE UMA LÂMINA BIMETÁLICA.

2.1-Observe o comportamento de uma **lâmina bimetálica** de modo a responder à questão 3.

O professor deverá demonstrar seu funcionamento; alternativamente, o comportamento de uma lâmina bimetálica pode ser visto no filme: <https://www.youtube.com/watch?v=5FeNbSG9sDE>

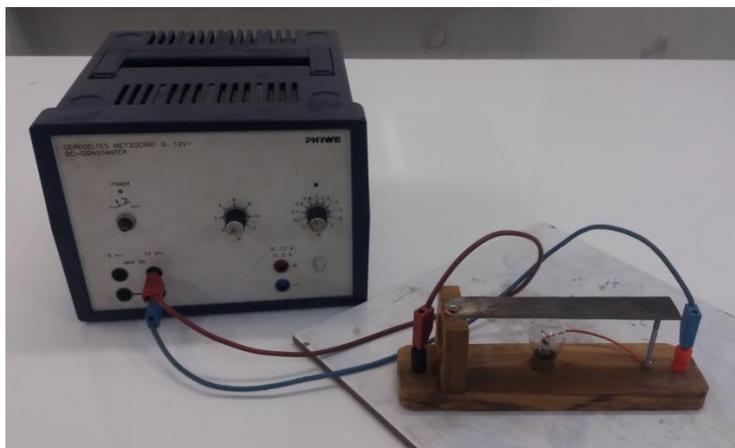
Figura 8.5 – Lâmina bimetálica sendo aquecida.



Fonte: o autor.

2.2 Na Figura 8.6 podemos ver uma lâmpada que pode ser ligada ou desligada por uma lâmina bimetálica para mostrar o funcionamento de um termostato. A lâmina, na temperatura ambiente, mantém o circuito fechado e a lâmpada acesa. Quando acesa, a lâmpada aquece a lâmina bimetálica que ao ser aquecida curva-se e abre o circuito, desligando a lâmpada. Com o circuito desligado a lâmina bimetálica volta à temperatura ambiente e volta a fechar o circuito e o ciclo se repete.

Figura 8.6 - Lâmina bimetálica usada como chave para ligar e desligar uma lâmpada.



Fonte: o autor.

8.5 QUESTIONÁRIO

- 1- Compare o coeficiente de dilatação linear encontrado experimentalmente para cada material fornecido com os valores respectivos da literatura. Indique a fonte onde obteve os valores da literatura e calcule o erro percentual em cada caso.
- 2- Na figura abaixo vemos uma junta de dilatação em uma ponte. Justifique a necessidade de juntas de dilatação em pontes e outras estruturas em função dos resultados da prática realizada.

Figura 8.7 – Junta de dilatação em uma ponte.



Fonte:: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/juntas-de-dilatacao-ajudam-a-evitar-fadiga-estrutural-de-pontes-e-viadutos_14462_10_0. Acesso em 09 jan. 2019.

- 3- Uma lâmina bimetálica consiste de duas tiras metálicas rebitadas e é utilizada como elemento de controle em um termostato comum. Explique como ela funciona.
- 4- Explique o que ocorre ao período de um relógio de pêndulo com o aumento da temperatura. Com o aumento da temperatura, o relógio de pêndulo passa a adiantar, atrasar ou permanece marcando as horas corretamente?
- 5- Uma pequena esfera de alumínio pode atravessar um anel de aço (Aparato experimental chamado de Anel de Gravesande). Entretanto, aquecendo a esfera, ela não conseguirá mais atravessar o anel. (a) O que aconteceria se aquecêssemos o anel e não a esfera? (b) O que aconteceria se aquecêssemos igualmente o anel e a esfera?

Figura 8.8 – Anel de Gravesande.



Fonte: [Dilatômetro Linear | Física Ruy Barbosa \(labfiscaruybarbosa.blogspot.com\)](http://labfiscaruybarbosa.blogspot.com). Acesso em 05 jun. 2023.

- 6- Explique porque a superfície de um lago congela-se primeiro quando a temperatura ambiente baixa para valores igual ou abaixo de zero grau Celsius.
- 7- Um orifício circular numa chapa de alumínio tem diâmetro de 62,7 cm a 25 °C. Qual o seu diâmetro quando a temperatura da lâmina aumentar para 95 °C? ($\alpha = 23 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).
- 8- Uma ponte de aço tem 500 m de comprimento. Ache a variação de comprimento devida à expansão térmica quando a temperatura varia de 15 °C a 35 °C. O coeficiente de expansão linear do aço é $1,1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

ANEXO B – ROTEIRO DE PRÁTICAS DO EXPERIMENTO SIMULADO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ DEPARTAMENTO DE FÍSICA LABORATÓRIO DE FÍSICA PARA ENGENHARIA

PRÁTICA 7: DILATAÇÃO TÉRMICA

Prof. Nildo Loiola Dias

7.1 OBJETIVOS

- Estudar a dilatação térmica em função da temperatura.
- Determinar o coeficiente de dilatação linear de sólidos.
- Verificar o comportamento de uma lâmina bimetálica.

7.2 MATERIAL

Filme sobre o comportamento de uma lâmina bimetálica ao ser aquecida:

<https://www.youtube.com/watch?v=5FeNbSG9sDE>

Animação para exercitar a leitura de um relógio comparador:

<https://www.stefanelli.eng.br/relogio-comparador-virtual-simulador-milimetro/>

Link para a simulação para a realização dessa prática:

<https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/dilatacao-termica>

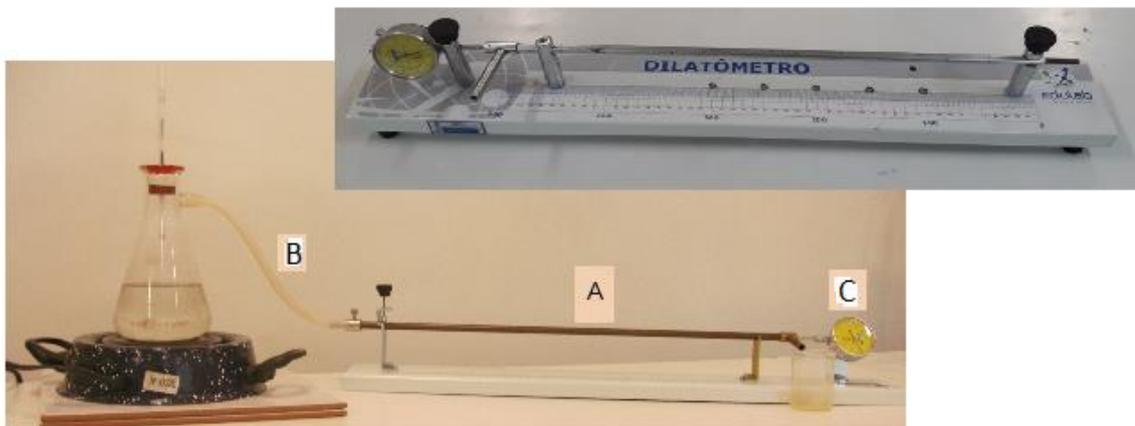
7.3 FUNDAMENTOS

Um corpo ou uma substância ao absorver calor, aumenta sua energia interna e consequentemente aumenta sua temperatura. As moléculas que formam o corpo ou substância aumentam seu grau vibracional ocupando um volume maior. O aumento observado das dimensões de um corpo com o aumento da temperatura é denominado de dilatação térmica.

O dilatômetro é um aparelho ou dispositivo utilizado especialmente para a determinação do coeficiente de dilatação linear de sólidos em forma de “tubos”. Consta de uma base, duas hastes fixadas na base sobre as quais se apóia o tubo oco do material cujo coeficiente de dilatação se pretende determinar. Uma terceira haste, também fixa na base, serve de sustentação para o relógio comparador que deve ser fixado tocando a extremidade do tubo oco.

Na Figura 7.1 temos uma fotografia do experimento real utilizado no laboratório de física para engenharia da UFC. O tubo da substância, cujo coeficiente de dilatação se quer determinar, A, é aquecido pelo vapor d’água (conduzido por um tubo de borracha B), que percorre o interior do tubo e com o qual se põe em equilíbrio térmico. Ao ser aquecido, o tubo oco se dilata e pressiona o relógio comparador, C, que registra a dilatação ΔL . Neste experimento a temperatura inicial do tubo oco é a temperatura ambiente e a temperatura final é a temperatura do vapor d’água que podem ser medidas com o termômetro colocado na tampa do kitasato contendo água sobre o fogareiro elétrico.

Figura 7.1 - Dilatômetro linear (foto superior) montado para o estudo da dilatação linear (foto inferior).



Fonte: próprio autor.

Sabemos que a dilatação ΔL é dada por:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (7.1)$$

α = é o coeficiente de dilatação linear do material.

L_0 = é o comprimento do tubo, à temperatura inicial.

ΔT = é a variação de temperatura do tubo.

Assim, a expressão do coeficiente de dilatação linear (α) procurado será:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} \quad (7.2)$$

Onde no nosso caso:

L_0 = (**não é o comprimento total do tubo**) é o comprimento, à temperatura inicial, da porção do tubo considerada na dilatação, isto é, o comprimento do tubo entre o ponto de fixação, na haste próxima à extremidade do mesmo por onde se dá a entrada do vapor de água e a extremidade fechada que toca o relógio comparador.

$\Delta T = T' - T =$ Variação de temperatura do tubo, onde t' é a temperatura medida do vapor de água e t a temperatura inicial (temperatura ambiente).

$\Delta L =$ Variação do comprimento do tubo medido no relógio comparador (dilatação do tubo).

OBS: No experimento real, descrito acima, só é possível conhecer a temperatura inicial do tubo oco (temperatura ambiente) e a temperatura final (temperatura do vapor de água). Na simulação é possível conhecer a temperatura do tubo oco desde a temperatura ambiente (25°C) até a temperatura máxima fornecida pelo banho térmico (150°C). A temperatura do tubo oco será considerada sempre igual ao valor indicado pelo banho térmico.

7.4 PROCEDIMENTO

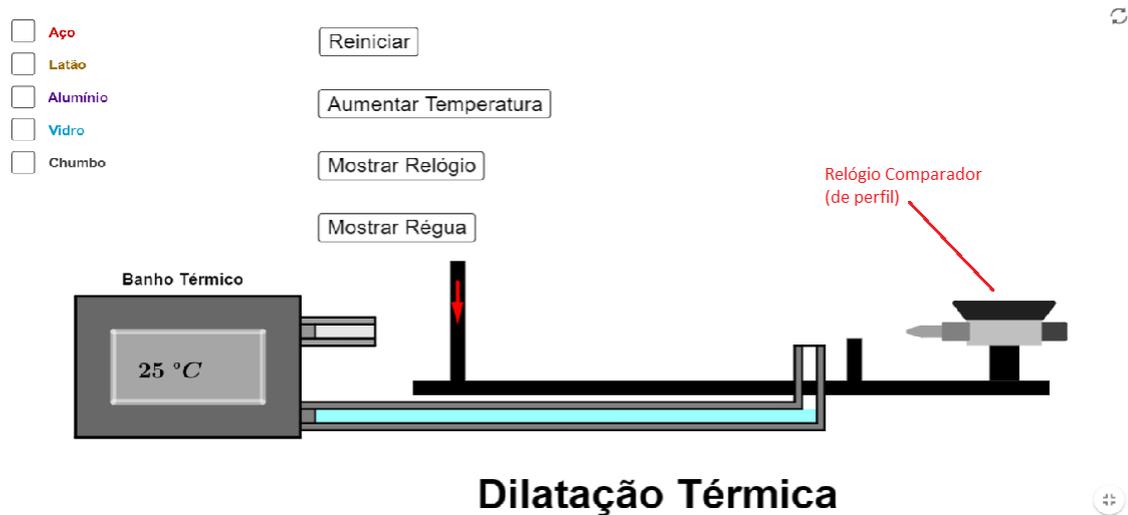
Para a realização do experimento virtual sobre DILATAÇÃO TÉRMICA acesse à simulação:

<https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/dilatacao-termica>

Na Figura 7.2 temos a tela principal da simulação. À esquerda temos um BANHO TÉRMICO que nada mais é do que um aparelho que pode aquecer um líquido, representado em azul, e fazê-lo circular no interior de um tubo oco. O BANHO TÉRMICO indica sempre a temperatura do líquido em um dado instante (consideraremos que a temperatura do tubo oco do material em estudo é sempre igual à temperatura indicada no BANHO TÉRMICO). A temperatura pode variar de 25 °C (temperatura

ambiente) até uma temperatura máxima de 150 °C. Um tubo oco pode ser escolhido dentre as 5 amostras indicadas. Cada amostra é fixa no dilatômetro no ponto indicado pela seta vermelha e tem sua extremidade direita tocando um RELÓGIO COMPARADOR. Assim, o comprimento inicial (L_0) do tubo oco que se dilatará de modo a influenciar o RELÓGIO COMPARADOR, corresponde à medida do ponto indicado pela seta vermelha à extremidade direita onde o TUBO OCO toca o RELÓGIO COMPARADOR.

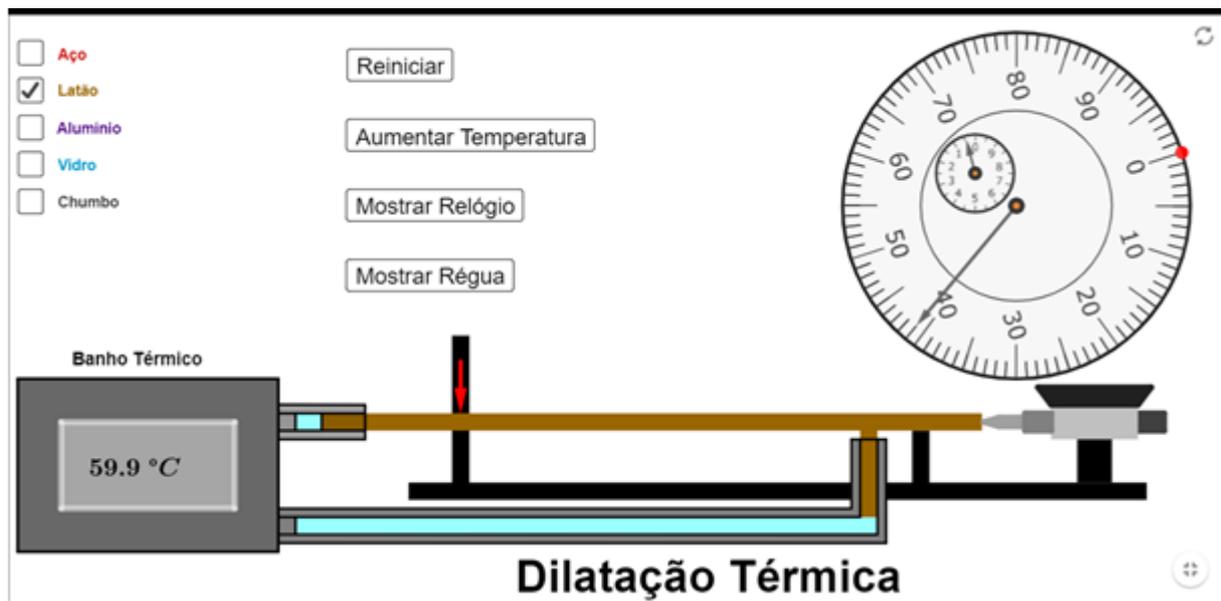
Figura 7.2 - Tela inicial da simulação: Dilatação Térmica.



Fonte: próprio autor.

O RELÓGIO COMPARADOR aparece inicialmente com sua face voltada para cima. Para visualizar a face do RELÓGIO COMPARADOR de modo a fazer as leituras, clique em MOSTRAR RELÓGIO; assim a simulação mostrará o RELÓGIO COMPARADOR, Figura 7.3.

Figura 7.3. Visão do RELÓGIO COMPARADOR. Observe o botão para parar/continuar.



Fonte: próprio autor.

Ao escolher uma nova amostra, a mesma será aquecida da temperatura ambiente (25 °C) até a temperatura máxima de 150 °C. **Observe que ao escolher uma amostra, a mesma é posicionada no dilatômetro e ao observar o mostrador do RELÓGIO COMPARADOR, o mesmo pode não está zerado. Para zerá-lo, clique no ponto vermelho na borda do relógio comparador e gire a escala até que o zero da escala coincida com a posição do ponteiro maior.**

Para fazer as leituras de ΔL , tenha sempre em mente que a menor divisão da escala no RELÓGIO COMPARADOR representa 0,01 mm e que cada volta completa corresponde a 1,00 mm. O número de voltas que correspondente ao número de mm, é indicado pelo ponteiro menor do RELÓGIO COMPARADOR. Observe que o ponteiro menor gira no sentido anti-horário seguindo a numeração em sequência.

Para exercitar a leitura de um relógio comparador, acesse:

<https://www.stefanelli.eng.br/relogio-comparador-virtual-simulador-milimetro/>

PROCEDIMENTO 1: Determinação do coeficiente de dilatação térmica do VIDRO.

1.1 Escolha a mostra de VIDRO.

1.2 Clique em MOSTRAR RELÓGIO e verifique se o mesmo está zerado. Lembre-se de zerar o relógio comparador antes de iniciar o aquecimento. Para isto clique no ponto vermelho na borda do relógio comparador e gire o mostrador do relógio até que o “zero” da escala externa coincida com a posição do ponteiro maior

1.3 Meça com a RÉGUA (graduada em cm) da simulação o comprimento L_0 , à temperatura inicial, da porção do tubo considerada na dilatação (comprimento do tubo entre o ponto de fixação indicado pela seta vermelha e a extremidade fechada do tubo que toca o relógio comparador). Anote: $L_0 = \text{_____ cm}$.

OBS: Para facilitar a leitura da régua da simulação, amplie a imagem girando o **scroll** do mouse.

1.4 Anote os valores de ΔL (leitura do RELÓGIO COMPARADOR) para os valores de temperatura indicadas na Tabela 7.1.

Tabela 7.1. Resultados “experimentais” para o tubo de VIDRO.

T (°C)	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0	150,0
ΔL (mm)	0,00					
ΔT (°C)	0,0	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0

1.6 Repita os procedimentos anteriores para o AÇO e anote na Tabela 7.2.

Tabela 7.2. Resultados “experimentais” para o tubo de AÇO.

T (°C)	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0	150,0
ΔL (mm)	0,00					
ΔT (°C)	0,0	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0

1.7 Repita os procedimentos anteriores para o ALUMÍNIO e anote na Tabela 7.3.

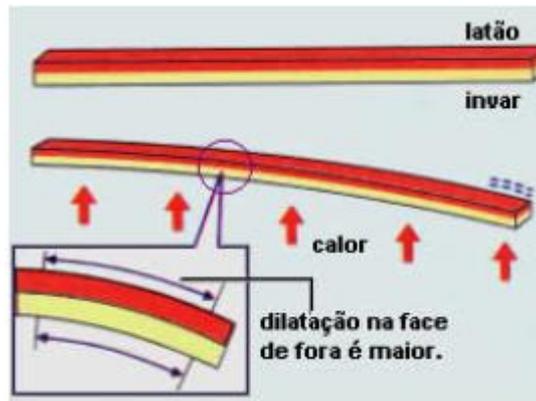
Tabela 7.3. Resultados “experimentais” para o tubo de ALUMÍNIO.

T (°C)	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0	150,0
ΔL (mm)	0,00					
ΔT (°C)	0,0	25,0	50,0	75,0	100,0	125,0

PROCEDIMENTO 2: Comportamento de uma lâmina bimetálica com a variação da temperatura.

Lâminas bimetálicas são dispositivos formados por duas lâminas de metais com diferentes coeficientes de dilatação unidas fortemente, Figura 7.4.

Figura 7.4. Lâmina bimetálica formada por latão e invar (invar é uma liga de níquel e ferro com baixo coeficiente de dilatação térmica).



Fonte da figura: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lamina-bimetalica.htm>. Acesso em 23 de setembro de 2020.

Na Figura 7.4 temos representada uma lâmina bimetálica formada por latão e invar. A lâmina se mantém retilínea na temperatura em que foi fabricada. Se a temperatura aumenta, o latão que tem coeficiente de dilatação térmica maior do que o do invar tende a se curvar como mostra a Figura 9.4. Se a temperatura diminuir, o latão teria uma contração maior do que a do invar e a curvatura da lâmina bimetálica seria ao contrário do que mostra a Figura 7.4, com o invar se curvando por sobre o latão. Essa propriedade é muito usada para fabricar dispositivos chamados de termostatos, capazes de fechar e abrir circuitos elétricos, regulando assim a temperatura.

Observe o comportamento de uma **lâmina bimetálica** ao ser aquecida:

<https://www.youtube.com/watch?v=5FeNbSG9sDE>

Os termostatos dos aparelhos eletrodomésticos que trabalham com temperatura (ferro elétrico, geladeira, ar-condicionado, grill, etc) usam essa propriedade das lâminas bimetálicas para regular a temperatura desejada.

Assista ao filme: <https://www.youtube.com/watch?v=-L87D5HfXhc>. Neste filme é possível ver em primeiro plano uma lâmina bimetálica sendo aquecida por uma vela. Explique o que está ocorrendo no filme:



7.5 QUESTIONÁRIO

- 1- Trace em um mesmo gráfico a dilatação térmica (ΔL) em função da variação da temperatura (ΔT) para os resultados encontrados para o Aço e para o Alumínio.
- 2- O que representa o coeficiente angular do gráfico da questão anterior? Justifique.
- 3- Calcule (mostrar os cálculos) o coeficiente de dilatação linear do Aço e do Alumínio estudado nesta prática e compare com os valores respectivos da literatura (citar a fonte). Indique o erro percentual em cada caso. Calcule também o coeficiente de dilatação do Vidro.
- 4- Na figura abaixo vemos uma junta de dilatação em uma ponte. Justifique a necessidade de juntas de dilatação em pontes e outras estruturas em função dos resultados da prática realizada.



Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/juntas-de-dilatacao-ajudam-a-evitar-fadiga-estrutural-de-pontes-e-viadutos_14462_10_0. Acesso em 09 jan. 2019.

- 5- Uma lâmina bimetálica consiste de duas tiras metálicas rebitadas. Considere que a tira superior é de aço e a tira inferior é de alumínio. O que aconteceria com a lâmina bimetálica em um dia muito frio? Justifique.
- 6- Explique o que ocorre ao período de um relógio de pêndulo com o aumento da temperatura. Com o aumento da temperatura, o relógio de pêndulo passa a adiantar, atrasar ou permanece marcando as horas corretamente?
- 7- Uma pequena esfera de alumínio pode atravessar um anel de aço. Entretanto, aquecendo a esfera, ela não conseguirá mais atravessar o anel. (a) O que aconteceria se aquecêssemos o anel e não a esfera? (b) O que aconteceria se aquecêssemos igualmente o anel e a esfera?