

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS* BAMBUÍ
LICENCIATURA EM FÍSICA

Wander Bismarque Rodrigues Bertoldo

Uma proposta para encontrar a taxa de calor emitida por fontes de calor.

BambuÍ

2023

WANDER BISMARQUE RODRIGUES BERTOLDO

Uma proposta para encontrar a taxa de calor emitida por fontes de calor.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Licenciatura em Física do Instituto
Federal de Minas Gerais – *Campus* Bambuí
para obtenção do grau de licenciado em Física.

Orientador: Prof. João Henrique Rodrigues

Bambuí

2023

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

B546p Bertoldo, Wander Bismarque Rodrigues.

Uma proposta para encontrar a taxa de calor emitida por fontes de calor. / Wander Bismarque Rodrigues Bertoldo. – Bambuí, 2023.
31 f.: il.

Orientador: João Henrique Rodrigues.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Licenciatura em Física, 2023.

1. Calor. 2. Temperatura. 3. Transferência de calor. I. Rodrigues, João Henrique. V. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 621.40220202

Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802

Wander Bismarque Rodrigues Bertoldo

Uma proposta para encontrar a taxa de calor emitida por fontes de calor.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Licenciatura em Física do Instituto
Federal de Minas Gerais – *Campus* Bambuí
para obtenção do grau de licenciado em Física.

Aprovado em 20/12/2023 pela banca examinadora:

Prof. Dr. João Henrique Rodrigues - IFMG/Bambuí (Orientador)

Prof. Ms. Gustavo Henrique Pereira Luz - IFMG/Bambuí

Prof. Dr. Kamilla Soares de Mendonça - IFMG/Bambuí

Bambuí - MG, 20 de novembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Joao Henrique Rodrigues, Professor**, em 28/11/2023, às 15:43, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Henrique Pereira Luz, Professor**, em 28/11/2023, às 15:45, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Kamilla Soares de Mendonca, Professora**, em 01/12/2023, às 13:26, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1753442** e o código CRC **62FE4138**.

AGRADECIMENTOS

É com grande emoção e gratidão que dedico este momento de agradecimento a todas as pessoas que contribuíram de maneira significativa para a conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso. Suas influências e apoios foram fundamentais para que este projeto se tornasse uma realidade.

Primeiramente, quero expressar minha profunda gratidão aos meus pais. Seu amor incondicional, apoio constante e encorajamento foram a bússola que guiou meus passos ao longo desta jornada acadêmica. Vocês são a fonte inesgotável de inspiração, e este trabalho é dedicado a vocês com todo meu carinho e reconhecimento.

À minha família e amigos, que estiveram ao meu lado durante todo esse percurso, agradeço por compreenderem as minhas ausências e por compartilharem comigo as alegrias e desafios desta jornada. Suas palavras de incentivo e gestos de amizade foram fundamentais para manter minha determinação e entusiasmo.

Aos meus professores, que compartilharam seu conhecimento e experiência, moldando meu pensamento crítico e ampliando minha compreensão sobre o tema abordado neste trabalho. Suas orientações foram cruciais para o desenvolvimento das ideias apresentadas aqui, e sou imensamente grato por isso.

Ao meu orientador, que dedicou tempo e esforço na orientação deste trabalho, guiando-me com paciência, sabedoria e expertise. Suas sugestões valiosas foram a luz que iluminou o caminho da pesquisa, e sua disponibilidade para esclarecer dúvidas foi essencial para o meu aprendizado.

Este trabalho não seria possível sem a contribuição valiosa de cada um de vocês. Obrigado por fazerem parte desta conquista, por acreditarem em mim e por tornarem este percurso acadêmico ainda mais significativo. Este é um marco que compartilhamos juntos, e cada um de vocês tem um lugar especial no meu coração.

RESUMO

O presente trabalho aborda sobre a transferência de calor em processos do cotidiano, como cozinhar e aquecer água. A pesquisa destaca a complexidade de calcular a quantidade exata de calor emitida por fontes de calor, a qual são apresentados de uma forma bem simples nos livros didáticos e em sala de aula. O problema central abordado é desenvolver um método simples e caseiro para que as pessoas possam medir a taxa de calor emitido por fontes de calor em seus cotidianos, como fogões, e como o recipiente pode influenciar o processo de aquecimento. O trabalho destaca o uso de métodos preventivos para obter taxas de calor mais assertivas e revela que a taxa de calor resultante recebida pelo líquido se torna menor à altas temperaturas (devido à perda de calor em altas temperaturas, assim como previsto pela Lei de Resfriamento de Newton), o que nos levou a entender que a taxa de calor real da fonte seria encontrada ao analisar aquecimentos com temperaturas inferiores à 80°C.

Ao final de nosso trabalho, conseguimos obter a taxa de calor recebido por 200 mL de água em diferentes recipientes. Vimos que a taxa de transferência de calor no béquer foi de 22,6 cal/min e no erlenmeyer foi de 31,0 cal/min, indicando que a forma do recipiente influencia na taxa de aquecimento do líquido. Em nossa conclusão, apresentamos nossas expectativas para dar continuidade a este trabalho (como usar outras fontes de calor e outros líquidos, propor métodos de aferição da precisão das taxas calculadas e sugerir como se obtém a taxa de calor em casa através dos utensílios comuns de cozinha, por exemplo), mas que não tivemos tempo para executá-los.

Palavras-chave: Calor, Temperatura, Transferência de calor.

ABSTRACT

This present study addresses heat transfer in everyday processes, such as cooking and water heating, emphasizing the complexity of calculating the exact amount of heat emitted by heat sources. These calculations, often presented in a simplified manner in textbooks and classrooms, fail to capture the intricacies involved. The central problem addressed is the development of a simple and homemade method for individuals to measure the heat rate of their everyday heat sources, such as stoves, and how the container can influence the heating process.

The study highlights the use of preventive methods to obtain more accurate heat rates, revealing that the resulting heat rate received by the liquid becomes lower at higher temperatures (due to heat loss at elevated temperatures, as predicted by Newton's Cooling Law). This understanding led us to conclude that the real heat rate of the source would be found by analyzing heating at temperatures below 80°C.

At the end of our study, we managed to determine the heat rate received by 200 mL of water in different containers. We observed that the rate in the beaker was 22.6 Cal/min, while in the erlenmeyer flask, it was 31.0 Cal/min, indicating that the shape of the container influences the heating rate received by the liquid. In our conclusion, we present our expectations for continuing this work (such as using other heat sources and liquids, proposing methods to assess the accuracy of calculated rates, and suggesting how to obtain the heat rate at home through common kitchen utensils, for example), but we did not have time to execute them.

Keywords: Heat, Temperature, Call transfer.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Medidas do tempo em relação a temperatura do aquecimento da água no béquer pág. 20

Tabela 2: Medidas do tempo em relação a temperatura do aquecimento da água no erlenmeyer pág. 20

Tabela 3: Valores da temperatura da água em relação ao tempo no experimento com o béquer e erlenmeyer na primeira seção de medidas pág. 22

Tabela 4: Medidas da temperatura em relação ao tempo de aquecimento da água no béquerpág. 25

Tabela 5: Medidas da temperatura em relação ao tempo de aquecimento da água no erlenmeyerpág. 26

Tabela 6: Valores da temperatura da água em relação ao tempo no experimento com o béquer e erlenmeyer na segunda seção de medidas.....pág. 27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	pág. 10
1.1	Justificativa.....	pág. 11
1.2	OBJETIVOS.....	pág. 12
1.2.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>pág. 12</i>
1.2.2	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>pág. 12</i>
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	pág. 13
3	METODOLOGIA.....	pág. 16
3.1	<i>Primeiras Medições</i>	<i>pág. 16</i>
3.1.1	<i>Análise e resultados da primeira etapa</i>	<i>pág. 21</i>
3.1.2	<i>Conclusões da primeira etapa</i>	<i>pág. 25</i>
3.2	<i>Segundas Medições</i>	<i>pág. 25</i>
3.2.1	<i>Análise e Resultados da segunda etapa</i>	<i>pág. 27</i>
3.2.2	<i>Conclusões da primeira etapa.....</i>	<i>pág. 30</i>
4	CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS.....	pág.30
5	REFERÊNCIAS.....	pág. 31

1. INTRODUÇÃO

A transferência de calor é um fenômeno presente em nosso cotidiano e que desempenha um papel fundamental em diversos processos, como, por exemplo, cozinhar alimentos em um fogão, aquecer água em uma panela, etc. No entanto, compreender a quantidade específica de calor emitida pelas fontes térmicas não é uma tarefa fácil. Embora seja possível observar os efeitos do aquecimento ou resfriamento causados pelo calor, calcular sua quantidade depende de muitos fatores. A caso de exemplo, a taxa de calor que uma panela recebe da boca de um fogão depende da intensidade da chama e da área de sua base que estará em contato com as chamas. Além da taxa recebida, também há a taxa retirada pelo meio envolto da panela, uma vez que o calor pode sair na forma de vapor de água e pela superfície lateral da panela. Diante dessa complexidade, surge o problema central deste trabalho: será possível propor um método simples e caseiro para que as pessoas em suas rotinas consigam encontrar a taxa de calor proveniente das fontes térmicas presentes em seu dia a dia? Além disso, pretendemos investigar como o recipiente utilizado influencia esse processo de aquecimento.

Desejamos finalizar este estudo com uma proposta eficaz para medir a taxa aproximada de calor recebida por um corpo por meio da utilização dos conceitos básicos já ensinados nos livros didáticos do Ensino Médio. Pretendemos desenvolver métodos simples e eficazes a partir dessas bases teóricas iniciais para realizar testes e obter as taxas de calor de várias fontes presentes no Laboratório de Bromatologia do IFMG - *Campus* Bambuí. No fim, queremos elaborar um método simples de obter a taxa de calor de uma fonte, o qual qualquer pessoa com hábito de usar fogões (ou outras fontes de calor) consigam replicá-las em casa e saber a taxa de calor média efetiva que o seu eletrodoméstico oferece.

Justificamos a nossa pesquisa pela compreensão da complexidade envolvida na transferência diária de calor entre os objetos, fontes e os meios que se situam. Essa complexidade se dá por vários fenômenos simultâneos de troca de calor, as quais dependem das fontes, do meio ambiente e dos recipientes usados para tanto. Por outro lado, muitos livros didáticos apresentam a grandeza de calor de uma forma muito simples, como se fosse algo que se afere facilmente, assim como a medição da massa por uma balança ou do tempo por um relógio, o que (de uma forma intencional) afasta a compreensão das pessoas da dinâmica real dos processos de aquecimento e resfriamento. Além disso, a definição calor também costuma ser tratada de forma superficial e confusa nesses materiais.

Segundo Cidra e Teixeira (2004), a expressão "calor de um corpo" pode levar ao equívoco fatal de interpretar o calor como uma propriedade intrínseca do corpo e não de algo que está acontecendo com ele. Também, as transferências de calor são empregadas a termos como "energia térmica", sem conceito definido, e isso apresenta maior dificuldade no entendimento por parte dos estudantes. Nesse sentido, nossa proposta aproxima-se das necessidades práticas do cotidiano das pessoas, desejando promover um conhecimento mais eficiente sobre transferência real de calor do nosso cotidiano, mediante uma abordagem didática e que explora os diferentes métodos presentes nos livros didáticos do Ensino Médio, utilizando equipamentos disponíveis nas residências.

Tendo essas questões em vista, objeto principal deste trabalho será desenvolver uma metodologia que possibilite a medição direta da taxa de calor efetivamente recebida por um corpo. Para tal, faremos uso de diversos experimentos que medem a variação de temperatura ao longo do tempo, utilizando sempre materiais acessíveis às pessoas e disponíveis nas residências. Partiremos inicialmente para identificação e registro da quantidade experimental da taxa de calor recebida pela água dos diferentes tipos de processos trocar calor que a água pode sofrer durante o experimento (condução, convecção e radiação), assim como previsto na literatura.

Com a execução desta pesquisa, esperamos contribuir para uma melhor compreensão do fenômeno de transferência de calor, e propor um método simples e acessível que permita às pessoas a entenderem quais são as taxas de calor proveniente das fontes térmicas do seu dia a dia. Pretendemos verificar a eficiência de nossa proposta ao averiguar se as taxas de calor obtidas nas experimentações com água também se estendem para outras substâncias (como o óleo de cozinha, bem comum nas casas de todo Brasil).

1.1 Justificativa

A transferência de calor no cotidiano é muito complexa por envolver fenômenos que ocorrem simultaneamente, e não têm como serem medidos diretamente e isolados do sistema. Por outro lado, os livros didáticos apresentam a quantidade de calor em si como algo muito simples, algo facilmente manuseável para ser aplicado. Há também casos em que a

definição de calor é apresentada de uma forma superficial, que é difícil dos estudantes entenderem, assim como apontam Cidra e Teixeira (2004, p.179):

" em muitos livros, principalmente os de Química e de Física introdutória, são utilizadas expressões infelizes, referindo-se, por exemplo, ao 'calor de um corpo' como se o calor fosse uma propriedade do corpo; ou ainda empregam termos como 'energia térmica", por meio de conceito indefinido, muitas vezes obscuro e ambíguo".

A partir das problemáticas apontadas acima, pretendemos aproximar o conhecimento de transferência de calor efetiva de um corpo a partir de uma proposta que é, ao mesmo tempo, simples e didática, explorando os diferentes tipos de transferência apresentados na literatura do Ensino Médio a partir de equipamentos que podem ser encontrados nas residências. Para tanto, pretendemos usar diferentes métodos de aquecimento e resfriamento, onde vai possibilitar um cálculo simples para que os estudantes possam estabelecer uma quantidade de calor específica da fonte.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Elaborar um método que consiga medir a taxa de calor efetiva que um líquido recebe ao ser aquecido por uma fonte de calor.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Propor uma série de experimentos que possam medir a variação da temperatura de acordo com o tempo, usando inicialmente equipamentos presentes nos laboratórios do Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus Bambuí*.
- Medir a quantidade de calor que a água (cujas propriedades térmicas são bem conhecidas) recebe em diferentes processos de aquecimento.
- Verificar como os diferentes recipientes influenciam na troca da quantidade de calor efetiva.
- Elaborar propostas para que as pessoas consigam descobrir a taxa de calor aproximada emitida pelos seus eletrodomésticos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Como sabemos, a temperatura é uma medida que descreve o quão quente ou frio um objeto ou ambiente está. Ela é uma das características físicas mais fundamentais e amplamente medidas em ciência, engenharia e vida cotidiana. A temperatura é uma propriedade termodinâmica que está relacionada à energia cinética das partículas que compõem um sistema.

"A temperatura é uma grandeza que mede a agitação térmica das partículas de um sistema. Quanto maior a temperatura de um sistema, maior é a energia cinética média das partículas que o compõem. A temperatura é uma propriedade termodinâmica fundamental e é medida em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) ou Kelvin (K). O zero absoluto, que é igual a $-273,15^{\circ}\text{C}$ ou 0 K , representa o ponto mais baixo possível de temperatura, onde a agitação térmica das partículas atinge o mínimo absoluto." (Halliday, p. 170)

Existem diferentes escalas de temperatura usadas em todo o mundo, sendo as mais comuns a Celsius ($^{\circ}\text{C}$), Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) e Kelvin (K). A escala Celsius é usada em muitos países e tem como referência o ponto de congelamento da água a 0°C e o ponto de ebulição a 100°C (sob pressão atmosférica ao nível médio do mar). A escala Fahrenheit é usada principalmente nos Estados Unidos e possui um ponto de congelamento da água a 32°F e um ponto de ebulição a 212°F . A escala Kelvin, por outro lado, é a escala de temperatura absoluta e é usada em ciências exatas. Ela começa em 0 K , que é o zero absoluto, a temperatura mais baixa possível, e tem como o ponto de congelamento da água a $273,15\text{ K}$ e o ponto de ebulição a $373,15\text{ K}$ (seria a escala de Celsius somada pela constante $273,15$).

A temperatura desempenha um papel crucial em muitos processos naturais e artificiais. Ela afeta as propriedades físicas e químicas das substâncias, como a densidade, a viscosidade, a pressão de vapor, a solubilidade, a condutividade térmica e elétrica, entre outras. Além disso, a temperatura tem um impacto significativo no comportamento dos sistemas biológicos, influenciando o metabolismo, a fisiologia e a ecologia de organismos vivos.

Medir e controlar a temperatura é essencial em diversas áreas, incluindo meteorologia, indústria, ciência da saúde, tecnologia de alimentos, controle de processos, climatização e muitas outras aplicações. Para medir a temperatura, são utilizados diferentes dispositivos, como termômetros, termógrafos, termopares, termo resistências e sensores de temperatura infravermelhos, que permitem a obtenção de dados precisos sobre a temperatura em diferentes contextos.

O conceito de calor apresentado pelos livros didáticos boa parte das vezes é de forma muito peculiar, assim como apontam Cindra e Teixeira (2004, p.179):

" em muitos livros, principalmente os de Química e de Física introdutória, são utilizadas expressões infelizes, referindo-se, por exemplo, ao 'calor de um corpo' como se o calor fosse uma propriedade do corpo; ou ainda empregam termos como 'energia térmica', por meio de conceito Indefinido, muitas vezes obscuro e ambíguo".

A distinção entre calor e temperatura é outra questão de difícil compreensão para os alunos no início de seus estudos sobre fenômenos térmicos, pois eles confundem a definição de calor com temperatura. Os alunos intendem que calor se refere a energia cinética das moléculas, ou seja, o grau de agitação das moléculas, onde essas definições se equivalem a temperatura não ao calor, segundo Cindra e Teixeira (2004, p.180):

Às vezes o calor é confundido com a energia cinética das moléculas num sistema. Por exemplo, são comuns afirmações como calor é o movimento aleatório das moléculas. Na realidade, esta energia cinética molecular é parte da energia interna do sistema e, sob condições adequadas, pode ser aumentada ou diminuída pela transferência de energia sob a forma de calor ou trabalho, ou por alguma outra mudança interna ao sistema, na qual não está envolvida nenhuma transferência [de energia] para as vizinhanças do sistema. A energia cinética média das moléculas pode ser relacionada à temperatura de um sistema por meio dos argumentos da teoria cinética, sendo chamada por alguns autores de energia térmica do sistema. Esta forma de energia nunca deveria ser confundida com calor.

Como já foi dito, a transferência de calor é muito difícil de ser calculada e medida de forma direta, ainda mais por falta de experimentos que consigam medir de forma adequada o calor transferido de uma fonte para um objeto, considerando a perda de calor que há para o ambiente, a forma do recipiente aquecido e o seu material. Há também a carência de práticas experimentais que consigam mostrar claramente como ocorre a taxa de transferência de calor entre dois corpos, assim como apontado pelo parecer de Ludke (2013, pág.89), que diz "...é um fato corriqueiro entre os professores de laboratório experimental de física, a dificuldade de aquisição de experimentos comerciais para a implementação de experimentos ilustrativos em termodinâmica e calorimetria em aulas práticas laboratoriais". De acordo com Nussenzveig (p. 207), o calor é uma forma de energia térmica que é transferida entre dois sistemas ou entre duas partes de um sistema devido a uma diferença de temperatura. Essa transferência de energia ocorre do sistema com maior temperatura para o sistema com menor temperatura. O calor é uma das principais formas de transferência de energia e é essencial para muitos processos naturais e industriais. Duas grandezas que são importantes para calcular e entender o calor são

o calor específico (c) e capacidade térmica (C), as quais são matematicamente descritas pelas equações 1 e 2:

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T, \quad (\text{Equação 1})$$

em que ΔQ é a quantidade de calor, m é a massa, c é o calor específico e ΔT é a variação da temperatura;

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = m \cdot c, \quad (\text{Equação 2})$$

em que o C é a capacidade térmica, ΔQ é a quantidade de calor, ΔT é a variação da temperatura, m é a massa e c é o calor específico.

É importante notar que o calor é uma quantidade de energia, e não uma substância ou matéria. Ele está relacionado à transferência da agitação das partículas em um sistema para outro, sendo que quanto mais agitadas as partículas, maior a temperatura e, conseqüentemente, maior é a quantidade de calor que pode ser transferida para um corpo de menor temperatura. Segundo Young e Freedman (2006, p.113):

" Na física, o termo 'calor' sempre se refere a uma transferência de energia de um corpo ou sistema para outro em virtude de uma diferença de temperatura existente entre eles, nunca indica a quantidade de energia contida em um sistema particular."

O calor pode ser transferido de várias maneiras, como citam os autores Fuke e Yamamoto (p. 37, 38, 39):

Condução: Transferência de calor através de um material sólido, de partícula para partícula, devido à diferença de temperatura.

A lei principal que explica qual é a quantidade de calor transferida entre dois sólidos é a Lei de Fourier (Φ). Essa lei, representada pela equação 3, estabelece que a quantidade de calor transferida por unidade de tempo, ou a taxa de transferência de calor, pela seção transversal de área (A) das superfícies dos sólidos em contato. Por ela, vemos também que a taxa depende diretamente de suas condutividades térmicas (k) e cai com a espessura (d) das superfícies atravessadas que o calor atravessa:

$$\Phi = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d} \quad (\text{Equação 3})$$

Convecção: Transferência de calor em um fluido (líquido ou gás) devido ao movimento das partículas.

Radiação: Transferência de calor na forma de radiação eletromagnética (por exemplo, luz infravermelha), sem a necessidade de um meio material para se propagar.

Vale também lembrar da Lei de Resfriamento de Newton, que estabelece que a taxa de variação da temperatura de um objeto é diretamente proporcional à diferença entre a temperatura do objeto e a temperatura do ambiente em que ele está localizado. Em outras palavras, a lei descreve como a temperatura de um objeto muda ao longo do tempo devido à troca de calor com o ambiente.

A forma matemática da lei do resfriamento de Newton é geralmente expressa da seguinte maneira:

$$\frac{dT}{dt} = -k (T - Ta), \quad (\text{Equação 4})$$

onde dT/dt é a taxa de variação da temperatura do objeto com o tempo (t), T é a temperatura do objeto, Ta é a temperatura ambiente, k é uma constante de proporcionalidade que depende das propriedades do objeto e do ambiente.

3 Metodologia

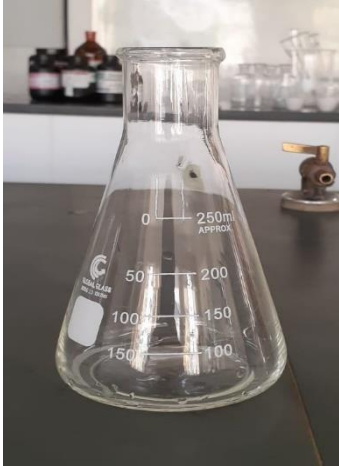
3.1 Primeiras Medições

A primeira ação que realizamos foi encontrar um laboratório no Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Bambuí (IFMG-Bambuí) que teria uma gama de fontes de calor, instrumentos para medir temperatura, diferentes recipientes para aquecimento e, também, que fosse de fácil acesso para estudantes. Em nossa busca dentre tantos laboratórios, encontramos o Laboratório de Bromatologia, que é utilizado basicamente pelos alunos dos cursos das Ciências Agrárias.

Observamos que o laboratório fornece todos os equipamentos necessários para fazer a nossa análise da taxa média de calor oferecida por diferentes fontes de calor: béquer e erlenmeyer com volume de 250 mL (cujas massas são, respectivamente, 137 g e de massa 118 g), água, digestor de fibra, termômetro, luva de proteção térmica, suporte de apoio para o termômetro e cronômetro do celular. A Figura 1 abaixo apresenta todos os equipamentos citados anteriormente.

Figura 1: Materiais do Laboratório de Bromatologia usados para realização do experimento.

A) Erlenmeyer



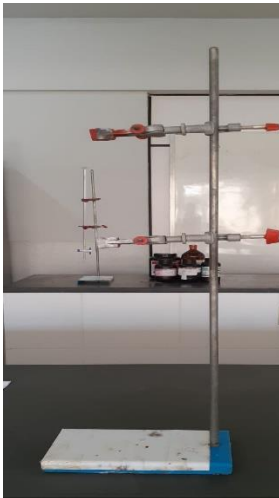
B) Béquer



C) Luva de proteção



D) Suporte de apoio¹



F) Termômetro



G) Digestor de Fibras



O aparelho que escolhemos realizar as nossas primeiras medidas foi o digestor de fibra, pois ele se apresentou ser o mais fácil de acessar e manusear. Em poucas palavras, ele é similar aos fornos elétricos, o qual teria 5 bocas, cujas chapas são aquecidas por efeito Joule, devido a passagem de corrente elétrica. Antes de ligá-lo, lemos as suas orientações que estavam próximas a ele para saber como usá-lo sem danificá-lo. Notamos que o equipamento é mais antigo e cada chapa em individual só conseguia aquecer até uma determinada temperatura, a qual desconhecemos e não tínhamos equipamento para medi-las. Em vista disso, ficamos jogando pequenas gotículas de água, nas chapas para, primeiramente, encontrar aquela que

¹ Suporte universal com garras metálicas

aquecia mais rápido e, em segundo, tentar saber quando ela alcançava a sua temperatura máxima com base na celeridade que evaporava as gotículas. Por estas experimentações, entendemos que a chapa alcançava a sua maior temperatura em 10 minutos. Uma vez que ajustamos o digestor de fibra, colocamos o béquer ou o erlenmeyer em sua chapa e iniciamos o cronômetro. Rapidamente, colocamos o bulbo do termômetro no centro do volume da água e o fixamos com ajuda do suporte de apoio, assim como apresentado na Figura 2. Em seguida, marcamos o tempo que o termômetro levava para alcançar as temperaturas múltiplas de 10 °C (30 °C, 40 °C, 50 °C,) até a temperatura de 100 °C, a temperatura máxima que a água líquida irá alcançar, assim como apresentado nos livros didáticos para 1 atm. Repetimos o processo descrito acima 6 vezes para cada recipiente e em três dias diferentes, cujos resultados e observações serão apresentadas abaixo.

Figura 2: Experimento montado.

A) Experimento montado



Vale salientar que a temperatura ambiente é uma variável imprevisível e inconstante, flutua diariamente, dificultando a estabilidade do experimento desde o seu início. A sua mudança de hora a hora e de dia a dia torna o cenário térmico do laboratório dinâmico e impediu que realizássemos todos os experimentos nas mesmas condições.

No primeiro dia de laboratório foi basicamente dedicado a criar um ambiente seguro, e familiarizar-nos com os equipamentos e procedimentos que seriam essenciais para nossas futuras atividades no laboratório. Essa base sólida de conhecimento e segurança foi crucial para o sucesso de nossos futuros experimentos. Nesse primeiro dia, além de conhecermos o laboratório, já realizamos uma série de experimentos com o béquer e o

erlenmeyer. Realizamos os procedimentos descritos nos parágrafos anteriores uma vez com cada vidraria, cujos resultados foram anotados em uma tabela para calcularmos as suas médias e desvio padrão posteriormente, assim que obtivermos mais dados.

No decorrer do segundo dia, dedicamos nossos esforços para realizar o maior número de experimentos possíveis, o qual nos ajudaria a alcançar nossas primeiras conclusões. O objetivo central dessas investigações era avaliar se o tempo necessário para atingir a temperatura especificada permaneceria consistente em cada tentativa, considerando-se os inevitáveis erros experimentais que surgem inerentemente durante tais execuções. Um ponto notável a destacar é que fomos capazes de conduzir um número significativamente maior de experimentos ao longo desse dia em particular, devido à nossa crescente familiaridade com os instrumentos e a infraestrutura do laboratório, bem como a nossa conscientização aprimorada das condições de segurança. Não somente isto, a repetição das experimentações possibilitou uma outra oportunidade de fazer novas observações neste mesmo experimento contribuindo para uma compreensão mais precisa dos fenômenos em estudo. Isso nos permitiu identificar tendências e discrepâncias, ajudando-nos a refinar nosso método experimental e a aprimorar nossos protocolos de trabalho. Em geral, o segundo dia foi caracterizado por uma diligente busca por resultados consistentes, conduzida com eficiência e segurança aprimoradas, resultando em um rico conjunto de dados que fortaleceu nossa pesquisa e nossa compreensão das variáveis em jogo.

O terceiro e último dia da primeira fase de experimentos foi repetido o procedimento de maneira metódica e precisa, mantendo a abordagem que havia sido adotada nos dias anteriores. Os resultados obtidos nesse dia serviram como uma confirmação da consistência e reprodutibilidade do experimento ao longo do período de testes. Portanto, o terceiro dia reafirmou o vigor do estudo e fortaleceu a base para análises futuras, contribuindo para uma sólida fundamentação científica. Em meio a essas oscilações, buscamos entender como a temperatura do ambiente e as condições do laboratório influenciam a obtenção dos dados, transformando obstáculos em oportunidades de aprendizado e inovação.

Abaixo, seguem os dados que coletamos nas Tabelas 1 e 2. A primeira linha da tabela apresenta o dia que realizamos a experimentação (1º, 2º e 3º) e a segunda linha a experimentação deste respectivo dia.

Tabela 1: Medidas do tempo em relação a temperatura do aquecimento da água no béquere.

Dia	1°		2°		3°	
Medição do dia	1ª	1ª	2ª	1ª	2ª	3ª
T ± 1(°C)	t ± 0,02 (min)					
30	1,03	0,98	0,85	1,82	1,80	1,52
40	2,22	2,22	2,20	3,30	3,12	2,82
50	3,43	3,15	3,28	4,85	4,68	4,28
60	4,78	4,50	4,68	6,55	6,60	5,85
70	6,27	6,10	6,22	8,57	8,35	7,72
80	8,07	7,75	8,35	10,98	10,78	10,05
90	10,33	10,03	10,45	14,22	14,35	12,80

Fonte: Os autores, 2023.

Tabela 2: Medidas do tempo em relação a temperatura do aquecimento da água no erlenmeyer.

Dia	1°		2°		3°	
Medição do dia	1ª	1ª	2ª	1ª	2ª	3ª
T ± 1(°C)	t ± 0,02 (min)					
30	1,65	2,23	1,35	1,68	1,08	0,92
40	3,40	3,75	2,73	3,70	2,05	2,20
50	5,28	5,55	4,07	5,70	3,32	3,48
60	7,15	7,33	5,45	7,70	4,62	5,23
70	9,22	9,37	7,00	9,93	6,15	6,55
80	11,47	11,50	8,75	12,15	7,83	8,37
90	13,83	14,05	10,78	14,93	9,82	10,43

Fonte: Os autores, 2023.

3.1.1 Análise e Resultados da primeira etapa

Inicialmente, apresentaremos constatações qualitativas importantes que observamos em nossa primeira etapa de experimentos. No primeiro dia, notou-se que a água não entrou em ebulição à 100 °C, mas sim a uma temperatura ligeiramente inferior, cerca de 99 °C, o qual acreditamos que ocorreu pela cidade de Bambuí estar em uma maior altitude e, por isso ter uma menor pressão atmosférica em relação àquela do nível do mar. Além disso, percebemos que as leituras no termômetro nos experimentos com o erlenmeyer eram um pouco mais difíceis de serem realizadas em seu interior, pois o vapor de água condensava em suas paredes e turvava um pouco a visão das marcações do termômetro. Apesar disso, isso não atrapalhou a precisão das nossas medições.

No segundo dia, percebemos que o tempo mínimo para o digestor de fibra alcançar a sua taxa máxima de troca de calor era, na verdade, de 30 minutos para mais (e não os 10 minutos que achávamos inicialmente). Essa conclusão ficou clara ao analisar a primeira e a segunda medições do 2º dia nas Tabelas 1 e 2, onde percebemos que o tempo que a água alcançava 90 °C no primeiro experimento era maior do que no subsequente. Também, constatamos como as bolhas no fundo dos recipientes poderiam auxiliar na identificação da temperatura aproximada da água. Notou-se que as vidrarias apresentavam uma formação de pequenas bolhas mais estáticas na base do recipiente (a qual estava em contato com a chapa do digestor de fibra) a 50 °C e ficavam maiores a 80 °C. Essas observações são muito importantes para auxiliar a ter uma noção da temperatura da água, sem o auxílio de um termômetro. Por exemplo, existem chás que são indicados em ficar em fusão em temperatura de 60 °C, enquanto os cafés são melhores serem passados a temperaturas entre 92 °C e 96 °C.

No terceiro e último dia da fase inicial dos experimentos, deparamo-nos com um erlenmeyer com massa semelhante à do béquer (mas não fizemos medições nele), o qual não tínhamos encontrado nos primeiro e segundo dias. O novo erlenmeyer nos ajudará nas análises futuras da transmissão da taxa de calor, pois podemos analisar como o formato do recipiente influencia no calor recebido, sem nos preocupar com a quantidade de calor que é direcionada para aquecer a massa excedente de um dos recipientes

Uma vez que apresentamos nossas constatações qualitativas, analisaremos os dados coletados para tirarmos as nossas conclusões quantitativas. Para tanto, vamos apresentar as Tabelas 3 e 4, as quais contém os valores médios dos dois primeiros quadros.

Tabela 3: Valores da temperatura da água em relação ao tempo (coluna a esquerda) no experimento com o béquer (coluna central) e erlenmeyer (coluna a direita) na primeira sessão de medidas.

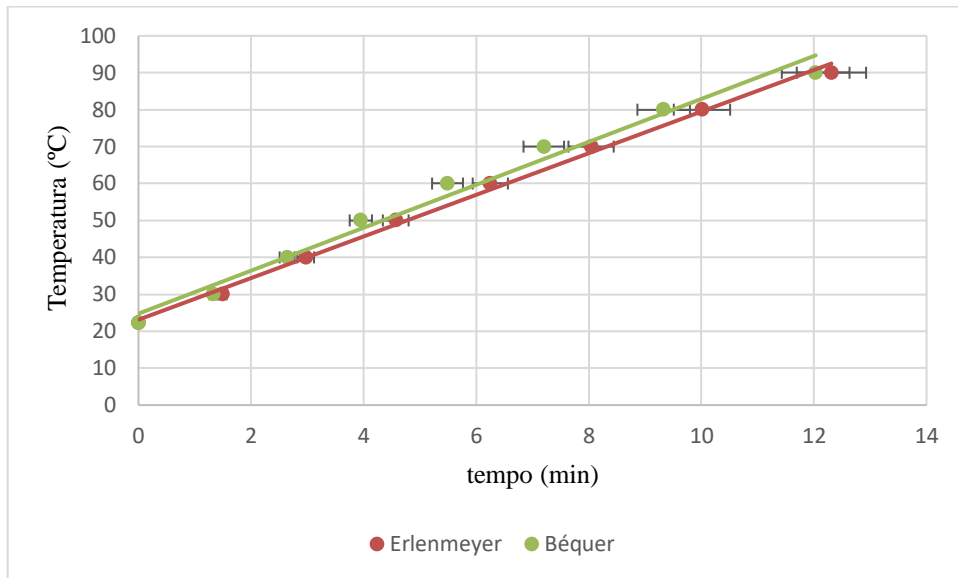
$\bar{T} \pm 1(^{\circ}\text{C})$	$\bar{t}(\text{min})$	$\bar{t}(\text{min})$
22	$0,0 \pm 0,0$	$0,0 \pm 0,0$
30	$1,3 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,2$
40	$2,6 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,3$
50	$3,9 \pm 0,3$	$4,6 \pm 0,5$
60	$5,5 \pm 0,4$	$6,3 \pm 0,6$
70	$7,2 \pm 0,5$	$8,0 \pm 0,8$
80	$9,3 \pm 0,7$	$10,0 \pm 0,9$
90	12 ± 1	12 ± 1

Fonte: Os autores, 2023.

Os dados das tabelas acima nos permitiram criar os Gráficos 1, os quais possibilitam mostrar o comportamento do aumento de temperatura da água em relação ao tempo. Essas representações visuais ajudam a revelar tendências e variações cruciais, permitindo uma análise mais profunda de nossas informações. O gráfico se tornou uma ferramenta valiosa para compreender a evolução dos dados ao longo do tempo, identificando padrões e anomalias que poderiam passar despercebidos apenas com a análise dos números

brutos. Ele é uma ponte visual que nos permite explorar o panorama completo de nossas informações de forma clara e eficaz.

Gráfico 1: Comportamento da temperatura da água em relação ao tempo no experimento com o béquer e o erlenmeyer na primeira sessão de medidas.



Fonte: Os autores, 2023.

A partir da análise do gráfico apresentado acima, foi possível obter um comportamento linear para o aumento da temperatura, cujos r^2 são de 0,998 para o béquer e 0,996 para o erlenmeyer. Notamos que a incerteza do tempo cresce com o número de medidas, e vimos que a taxa de aumento da temperatura do béquer é de $(5,8 \pm 0,3) \text{ } ^\circ\text{C}$, a qual parte da temperatura inicial é de $(25 \pm 2) \text{ } ^\circ\text{C}$. Enquanto isso, o resultado do erlenmeyer é de $(5,7 \pm 0,2) \text{ } ^\circ\text{C}$, e apresenta uma temperatura inicial de $(23 \pm 1) \text{ } ^\circ\text{C}$.

Os nossos resultados preliminares revelam que os resultados do erlenmeyer apresentam uma menor magnitude de desvio; tanto da taxa de aumento de temperatura, quanto da temperatura inicial. Ficamos surpreendidos com esse resultado, pois nossas análises englobaram todas as medições que realizamos, as quais incluem a do erlenmeyer com uma subtaxa de aquecimento mais acentuado do que a do béquer, uma vez que ele foi o primeiro a ser aquecido em todos os dias. Talvez, esses resultados nos revelam que o erlenmeyer pode ser

uma escolha mais confiável para elaborar experimentos mais precisos para os estudos de aquecimento de líquidos. Veremos no próximo capítulo se esse resultado é consistente ou somente uma coincidência, quando estudaremos os aquecimentos da água com taxas de calor constante.

3.1.2 Conclusões da primeira etapa

Os primeiros estudos do nosso trabalho nos permitiram identificar quais de nossas ações favorecem e desviam a obter a taxa de calor efetiva recebida pela água aquecida no digestor de fibra. Notamos que ler e seguir adequadamente as orientações do digestor de fibra, procurar qual de suas chapas se aquece mais rápido através da evaporação de gotículas de água, posicionar o bulbo do termômetro no centro do líquido e de uma forma que sua graduação fique bem visível para facilitar a leitura, por exemplo, favorecem a realizar um experimento mais preciso e assertivo. Não obstante, percebemos que usar a grandeza tempo como uma variável dependente da temperatura não é uma boa escolha, uma vez que a temperatura inicial do líquido pode se alterar de dia para dia, e de hora para hora em um mesmo dia. Além disso, observamos que a chapa do digestor de fibra precisa de um tempo muito maior para alcançar a sua taxa de troca de calor máxima com a água, já que os primeiros aquecimentos do dia levavam mais tempo do que os seguintes.

Graças aos passos realizados acima, conseguimos coletar dados da temperatura e do tempo que nos possibilitaram a montar tabelas e gráficos. As suas médias revelaram que o aquecimento da água em ambos os recipientes é linear, assim como apresentado nas literaturas, e que suas taxas de aquecimento são próximas (a do béquer é $(5,8 \pm 0,3)$ °C/min e a do erlenmeyer é $(5,7 \pm 0,2)$ °C/min). Aqui, ressaltamos que essas taxas de aquecimento englobam valores de situações plurais - tanto da chapa oferecendo a sua taxa máxima de troca de calor quanto menor do que esta - e não sabemos o como elas afetam o resultado como todo. Em um primeiro momento, acreditamos que elas estão, por consequência, um pouco menor do que realmente são.

Graças aos estudos relatados vimos, que é possível aprimorar o nosso método experimental, o que nos permitirá realizar os próximos experimentos com uma metodologia mais eficaz e consistente, e que nos retornará resultados mais precisos e assertivos.

3.2 Segundas Medições

Após analisarmos as medições anteriores, aprimoramos nosso método experimental, decidindo realizar as medições em intervalos de tempo fixo 1,5 minutos. No espaço de um dia, conseguimos coletar cinco novas medidas, reconfigurando assim nossa tabela de medições. Abaixo, segue os dados que coletamos nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 4: Medidas da temperatura em relação ao tempo de aquecimento da água no béquer.

Medição do dia	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
t ± 0,02(min)	T ± 1 (°C)				
0,00	26	26	26	27	27
1,50	40	37	38	40	38
3,00	53	51	53	53	52
4,50	65	64	65	65	64
6,00	76	74	75	76	75
7,50	84	84	86	85	85
9,00	93	92	94	94	93

Fonte: Os autores, 2023.

Tabela 5: Medidas da temperatura em relação ao tempo de aquecimento da água no erlenmeyer.

Medição do dia	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
t ± 0,02(min)	T ± 1(°C)				
0,00	26	26	26	27	27
1,50	35	35	35	35	36
3,00	46	46	46	47	48
4,50	55	55	55	57	60
6,00	64	65	64	67	69
7,50	72	73	72	75	77
9,00	79	80	79	82	84
10,50	85	86	85	87	89
12,00	90	92	90	92	94

Fonte: Os autores, 2023.

3.2.1 Análise e Resultados da segunda etapa

Após compartilharmos nossas observações qualitativas, procederemos à análise dos dados coletados a fim de deduzir nossas conclusões quantitativas. Nesse sentido, disponibilizaremos as Tabelas 7 e 8, que incluem as médias dos valores do gráfico feito no tópico anterior.

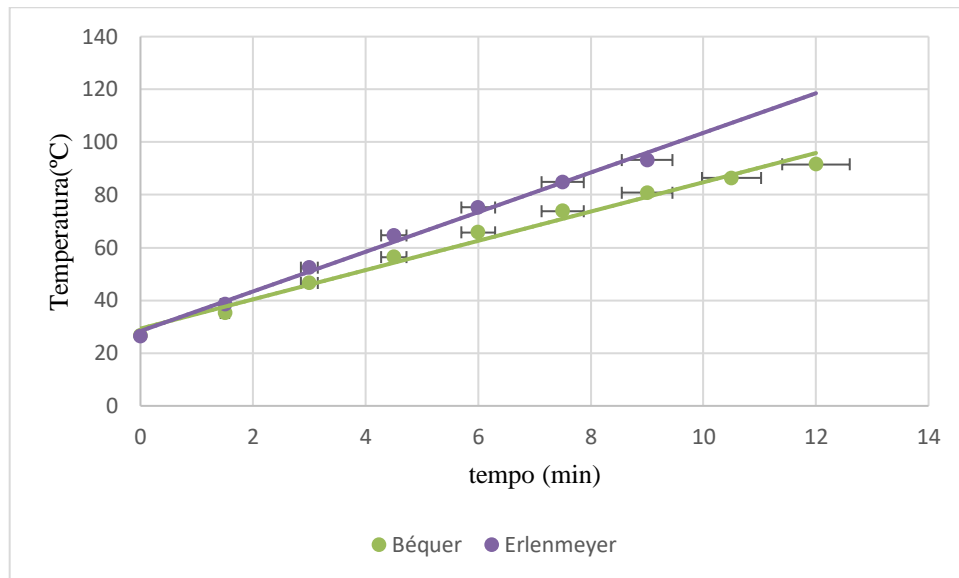
Tabela 6: Valores da temperatura da água em relação ao tempo (coluna a esquerda) no experimento com o béquer (coluna central) e erlenmeyer (coluna a direita) na segunda sessão de medidas.

$\bar{t} \pm 0,02(\text{min})$	$\bar{T}(\text{°C})$	$\bar{T}(\text{°C})$
0,00	27 ± 1	26 ± 1
1,50	35 ± 2	39 ± 2
3,00	47 ± 2	52 ± 3
4,50	56 ± 3	65 ± 3
6,00	66 ± 3	75 ± 4
7,50	74 ± 4	85 ± 4
9,00	81 ± 4	93 ± 5
10,50	86 ± 4	
12,00	92 ± 5	

Fonte: Os autores, 2023.

Os dados apresentados nas tabelas anteriores permitiram-nos gerar o Gráficos 2, que têm a capacidade de ilustrar o comportamento do aumento da temperatura da água.

Gráfico 2: Comportamento da temperatura da água em relação ao tempo no experimento com o béquer e erlenmeyer na segunda sessão de medidas.



Fonte: Os autores, 2023.

A partir do gráfico apresentado acima, foi possível obter um comportamento linear para o aumento da temperatura. Notamos que a incerteza da temperatura cresce a medida do tempo fica maior, vimos que a taxa de aumento de calor da temperatura do béquer é de $(5,6 \pm 0,2) \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$, a qual parte da temperatura inicial é de $(29 \pm 1) \text{ } ^\circ\text{C}$. Enquanto isso, o resultado do erlenmeyer é de $(7,5 \pm 0,3) \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$, e apresenta uma temperatura inicial de $(28 \pm 1) \text{ } ^\circ\text{C}$.

Observamos que as precauções aprendidas nas primeiras medições geraram melhores resultados nas segundas medições, pois obtivemos um gráfico mais lineares (o r^2 do béquer foi de 0,998 para 0,986 e do erlenmeyer foi de 0,996 para 0,993) e que apresenta menores barras de desvio. Notamos que o erlenmeyer tem uma taxa de aquecimento de, aproximadamente, 34% superior ao do béquer. Além disso, vimos que, possivelmente, os últimos dois pontos do gráfico apresentam taxas de calor inferior aos demais, uma vez que estão

abaixo da reta do comportamento médio. Entendemos que o motivo para isso é porque eles estão a uma temperatura mais elevada, o que lhes favorecem perda de calor superior para o meio. Acreditamos que retirá-los é fundamental para obter a taxa de calor mais próxima daquela ofertada pela fonte. Ao fazer isso, encontramos que elas agora são dadas por um tempo maior de aquecimento, cujo valores da taxa de aumento de temperatura do béquer é de $8,9\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ e a do erlenmeyer é $12,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Por fim, ao considerar que foram aquecidos 200 mL de água - cujo calor específico da água é de $1\text{ cal}/\text{g }^{\circ}\text{C}$ e a densidade 1 g para cada mL, encontramos que a taxa de calor recebida pelo béquer foi de $25,2\text{ cal}/\text{min}$ e a do erlenmeyer foi de $34,0\text{ cal}/\text{min}$.

3.2.2 Conclusões da segunda etapa

Ao tomar os cuidados apresentados na seção anterior encontramos que a taxa de calor encontrada para o béquer teve pouca diferença e do erlenmeyer aumentou em, aproximadamente 30%. O motivo da pequena diferença do béquer se deu por conta que ele foi o segundo experimento a ser no dia, quando o digestor de fibra estava próximo de sua transferência máxima de calor, enquanto a do erlenmeyer teve suas primeiras medidas do dia com uma subtaxa de aquecimento.

Acreditamos que o erlenmeyer apresenta a maior taxa de aquecimento, pois sua boca possui um diâmetro menor do que a do béquer por isso sua perda de calor é menor. Ao medir os diâmetros de suas bases e de suas bocas, obtivemos, respectivamente, $(6,0 \pm 0,2)\text{ cm}$ e $(6,5 \pm 0,3)\text{ cm}$ para o béquer, e $(6,5 \pm 0,5)\text{ cm}$ e $(3,4 \pm 0,3)\text{ cm}$ para o erlenmeyer.

Vimos também que taxa efetiva recebida pela água após 80°C começa a ser reduzida. Sendo assim é interessante calcular a taxa mais próxima da realidade para aquecimento inferior a 80°C .

4 Conclusão e Perspectivas

Em nosso trabalho, vimos que foi possível determinar a taxa de aumento de temperatura recebida por 200 mL de água aquecida por uma fonte de calor. Percebemos que a mesma quantidade de água sofria diferentes taxas de aquecimento quando era aquecida em uma mesma fonte em recipientes diferentes (no béquer foi de $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ e no erlenmeyer foi de $10,4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$). Considerando que o calor específico da água é de $1\text{ cal}/\text{g }^{\circ}\text{C}$, vimos que a taxa de

aquecimento no béquer foi de 22,6 cal/min e do Erlenmeyer foi de 31,0 cal/min. O béquer que usamos foi um recipiente cilíndrico de vidro, com um fundo plano e paredes retas. O erlenmeyer tem uma forma mais próxima da cônica, com sua parte superior mais estreita e uma base mais larga, o que permite uma agitação mais eficaz dos líquidos e facilita o controle ao despejar líquidos. Acreditamos que o erlenmeyer recebeu uma taxa superior de calor, pois a sua parte superior minimiza a perda de calor e que a sua base maior favorecia um recebimento maior de calor por contato.

As nossas perspectivas era estender esse experimento para outros tipos de recipientes e verificar como as suas formas e seus materiais alterariam a taxa de aquecimento. Além disso, planejávamos refazer toda proposta deste trabalho com outras fontes de calor. Também, iríamos aferir a assertividade de nossos estudos ao prever a temperatura do óleo de cozinha em diferentes tempos de aquecimento. Por fim, proporíamos métodos para a medir a taxa de calor das fontes em casa e com utensílios comuns de cozinha, ao invés de usar equipamentos específicos de laboratório, assim como os do Laboratório de Bromatologia.

Infelizmente, não conseguimos realizar todas as nossas expectativas, pois a execução do Trabalho de Conclusão de Curso ocorreu no Calendário Acadêmico de 2023 do IFMG - Bambuí, cuja quantidade de semanas de aulas estavam reduzidas, devido ao uso de sábados letivos para aproximar o calendário acadêmico do calendário habitual (consequência da falta de aulas durante o ano de 2020, devido a pandemia do COVID-19).

5 REFERÊNCIAS

- CINDRA, J.L.; TEIXEIRA, O.P.B. **Uma discussão conceitual para o equilíbrio térmico**. Caderno Brasileiro do Ensino de Física, V.21, n.2, p.176-193, agosto, 2004.
- FUKE, L.F.; YAMAMOTO, K. **Física para o ensino médio: termodinâmica, óptica e ondulatória**. 4.ed. São Paulo: Saraiva, 2016. v. 2.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 2.
- JUNIOR, F.R.; FERRARO, N.G.; SOARES, P.A.T. **Física 2: os fundamentos de física**. 10.ed. São Paulo: Moderna, 2009.
- LUDKE, EVERTON; *et al.* **Um experimento para o ensino de conceitos de transferência de calor em laboratório de física**. Revista brasileira de Ensino de Física. São Paulo (SP). V.35, n.1, p.1503-1503_4; fevereiro, 2013.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica 2**: fluidos, oscilações e ondas, calor. 4. ed. São Paulo: Edgard Bliticher, 2002.

YOUNG, H. D. *et al.* **Física II**: termodinâmica e ondas. 12.ed. São Paulo: Pearson Education, do Brasil, 2008.