



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 58

AUDÊNIO VINÍCIUS BARBOSA DA LUZ

**UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA DO EFEITO SEEBECK PARA A
COMPREENSÃO DA TERMODINÂMICA E DOS MECANISMOS DE
PROPAGAÇÃO DE CALOR NO ENSINO MÉDIO**

Recife

2025

AUDÊNIO VINÍCIUS BARBOSA DA LUZ

**UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA DO EFEITO SEEBECK PARA A
COMPREENSÃO DA TERMODINÂMICA E DOS MECANISMOS DE
PROPAGAÇÃO DE CALOR NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Polo 58 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Michael Lee Sundheimer

Coorientador: Prof. Dr. Aduino José Ferreira de Souza

Recife

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

L979a Luz, Audênio Vinícius Barbosa da.
Uma abordagem investigativa do efeito Seebeck para a compreensão da termodinâmica e dos mecanismos de propagação de calor no ensino médio / Audênio Vinícius Barbosa da Luz . – Recife, 2025.
140 f.: il.

Orientador(a): Michael Lee Sundheimer.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional de Ensino de Física, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências, anexo(s) e apêndice(s).

1. Física (Ensino médio) 2. Calor 3. Calor – Propagação 4. Termodinâmica
5. Física – Experiências I. Sundheimer, Michael Lee, orient. II. Título

CDD 530.07

AUDÊNIO VINÍCIUS BARBOSA DA LUZ

**UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA DO EFEITO SEEBECK PARA A
COMPREENSÃO DA TERMODINÂMICA E DOS MECANISMOS DE
PROPAGAÇÃO DE CALOR NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Polo 58 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Michael Lee Sundheimer
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Orientador

Profa. Dra. Ana Paula Teixeira Bruno Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE/UAEADTec
Examinadora Interna

Prof. Dr. Diogenes Soares Moura
Colégio de Aplicação da UFPE - CAP
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por me mostrarem a importância da educação não somente para mim, mas para toda a sociedade, além de sempre me incentivarem aos estudos e me guiarem no caminho até aqui. Em especial, ao meu avô, que fazia questão de transparecer orgulho de minhas conquistas, e certamente estaria contando aos vizinhos, mesmo sem entender o que é um mestrado, como o neto dele estava alcançando mais uma etapa importante, com um grande sorriso no rosto

Aos amigos que fiz na turma, por serem fonte de inspiração para minha vida profissional e por serem companheiros nos diversos momentos.

Aos amigos próximos, que me mostraram que eu era mais do que eu acreditava ser em diversos momentos, me incentivando a não abrir mão de nenhuma etapa do que conquistei até aqui, inclusive do mestrado.

Ao meu orientador, que desde o início se mostrou interessado em fazer esse projeto crescer, e me auxiliou com contribuições ao longo de todo processo. Ao meu coorientador, que assim como meu orientador, contribuiu com as mais diversas contribuições, inclusive em congressos e publicações.

Aos membros da banca examinadora, por suas críticas construtivas, que contribuíram para a melhoria do trabalho e para o meu crescimento acadêmico e profissional.

À escola, por ser adepta e permitir a colaboração na realização deste estudo e pela confiança em me permitir trabalhar com seus estudantes, cujas contribuições foram fundamentais para a realização deste experimento.

Além disso, agradeço aos estudantes que participaram do meu experimento, sem os quais este trabalho não teria sido possível. A participação deles foi essencial para o sucesso deste estudo.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e à Sociedade Brasileira de Física (SBF), por possibilitarem a capacitação dos docentes da rede básica de ensino em nível de mestrado, durante o exercício da profissão.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

EPIGRAFE

Há perguntas ingênuas, perguntas enfadonhas, perguntas mal formuladas, perguntas propostas depois de uma inadequada autocrítica. Mas toda pergunta é um grito para compreender o mundo. Não existem perguntas imbecis.

As crianças curiosas são um recurso nacional e mundial. Precisam receber cuidados, ser tratadas com carinho e estimuladas. Mas o mero estímulo não é suficiente. Temos de lhes dar também as ferramentas essenciais com que pensar. (Sagan, 1996, p. 58).

RESUMO

A presente pesquisa propõe uma sequência didática com abordagem investigativa no ensino de Física, com foco nos conceitos de termodinâmica e mecanismos de propagação de calor, a partir da construção e aplicação de um produto educacional baseado no efeito Seebeck e no uso da placa Peltier. Fundamentado no construcionismo e em metodologias ativas, o estudo foi desenvolvido com uma turma da segunda série do Ensino Médio de uma escola da rede privada, alinhando-se ao conteúdo previsto no currículo. Fundamentada no construcionismo de Seymour Papert, a metodologia envolveu o ensino investigativo por meio da experimentação e do desenvolvimento de aulas dialogadas através da discussão de problemas. Durante a aplicação, os estudantes foram capazes de investigar o processo de geração de energia, sendo estimulados a argumentarem a viabilidade através de parâmetros físicos, mensuráveis ou não, envolvidos na experimentação. Na atividade constatou-se o protagonismo estudantil, a promoção da Alfabetização Científica, o sucesso da abordagem investigativa, assim como a socialização dos resultados, com participação ativa de todos os estudantes, inclusive aqueles com Transtorno do Espectro Autista (TEA). Os dados foram coletados por meio de observações, registros escritos e falas dos estudantes durante as atividades, analisados com base na fundamentação teórica, documentos educacionais vigentes e na fala e resposta dos estudantes quanto aos questionários. Os resultados indicaram que a atividade favoreceu o desenvolvimento conceitual sobre calor como energia em trânsito, ampliou a compreensão sobre os processos físicos envolvidos e contribuiu para uma postura investigativa e crítica dos alunos diante dos fenômenos estudados.

Palavras-chave: Ensino de física; calor; Abordagem investigativa; Propagação de calor; Construcionismo; Termodinâmica.

ABSTRACT

This research proposes a didactic sequence using an investigative approach to Physics teaching, focusing on thermodynamics concepts and heat transfer mechanisms, through the development and application of an educational product based on the Seebeck effect and the use of the Peltier plate. Grounded in constructionism and active methodologies, the study was conducted with a second-year high school class from a private school, aligned with the curriculum content. Based on Seymour Papert's constructionism, the methodology involved investigative teaching through experimentation and the development of dialogued lessons centered around problem discussions. During implementation, students were able to explore the process of energy generation, being encouraged to argue its feasibility through physical parameters, whether measurable or not, involved in the experiment. The activity revealed student protagonism, the promotion of scientific literacy, the effectiveness of the investigative approach, and the socialization of results, with active participation from all students, including those with Autism Spectrum Disorder (ASD). Data were collected through observations, written records, and student speech during the activities, and analyzed based on the theoretical framework, current educational documents, and students' responses to the questionnaires. The results indicated that the activity supported the conceptual development of heat as energy in transit, expanded understanding of the physical processes involved, and contributed to a more investigative and critical attitude among students toward the phenomena studied.

Keywords: Physics teaching; Heat; Investigative approach; Heat transfer; Constructionism; Thermodynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Erro conceitual em manchete de jornal	11
Figura 2 – Mapa conceitual de abordagens investigativas	22
Figura 3 – Gravura do aparelho de Joule para medir o equivalente mecânico do calor.....	29
Figura 4 – Expansão reversível	31
Figura 5 – Representação esquemática de uma máquina térmica	33
Figura 6 – Esquema de uma placa Peltier.....	35
Figura 7 – Funcionamento da placa Peltier no efeito Peltier (esquerda) e no efeito Seebeck (direita)	36
Figura 8 – Motor vibracall utilizado no aparato experimental	39
Figura 9 – Principais materiais utilizados no aparato experimental.....	40
Figura 10 – Circuito com placa Peltier.....	41
Figura 11 – Distribuição dos reservatórios de latas e da placa Peltier no aparato	42
Figura 12 – Caracterização do aparato experimental, utilizando reservatórios de tetrapak.	43
Figura 13 – Aplicação do questionário prévio.....	50
Figura 14 – Nuvem de palavras formadas pela questão 1: O que você entende como sendo 'energia'?	52
Figura 15 – Nuvem de palavras formadas pela questão 2: Quais formas de energia você observa no cotidiano?	54
Figura 16 – Imagem utilizada como suporte para a questão 7	58
Figura 17 – Imagem utilizada como suporte para a questão 8	59
Figura 17– Gráfico para a pergunta 9 (pergunta fechada).....	61
Figura 18 – Gráfico para a pergunta 10 (pergunta fechada).....	62
Figura 19 – Imagem utilizada como suporte para a questão 11	62
Figura 20 – Proteção de EVA, proposta pelo Grupo 1, para facilitar fixação da Peltier.....	74
Figura 21 – Proteção de EVA, utilizada pelo Grupo 4, seguindo o Grupo 1	74
Figura 22 – Fixação dos reservatórios com fita, feita pelo Grupo 1, após a proteção de EVA na placa.....	75
Figura 23 – Fixação dos reservatórios com fita, feita pelo Grupo 2, após a proteção de EVA na placa.....	76
Figura 24 – Grupo 3 reunido junto ao professor Audênio Vinícius	77
Figura 25 – Ajustes na placa de isopor para confecção do isolamento da máquina térmica, realizada pelo Grupo 3.....	78

Figura 26 – Tentativa de fixar as paredes do isolante térmico com placa de isopor e cola de isopor.....	79
Figura 27 – Tentativa de fixar as paredes do isolante térmico pelo Grupo 4.....	80
Figura 28 – Máquinas térmicas produzidas pelos Grupos 1 e 2, respectivamente.....	81
Figura 29 – Máquinas térmicas produzidas pelos Grupos 3 e 4, respectivamente.....	81
Figura 30 – Nuvem de palavras formadas pela questão 1: O que você entende como sendo 'energia'?	74
Figura 31 – Nuvem de palavras formadas pela questão 2: Quais formas de energia você observa no cotidiano?	76
Figura 32 – Gráfico para a pergunta 9 (pergunta fechada) do questionário final.....	82
Figura 33 – Gráfico para a pergunta 10 (pergunta fechada) do questionário final.....	83
Figura A.3 – Proteção de EVA para facilitar fixação da Peltier.....	103
Figura A.4 - Fixação dos reservatórios com fita, após a proteção de EVA na placa	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização da Máquina de Seebeck para reservatório com latas retangulares, com ênfase em parâmetros elétricos.....	44
Tabela 2 – Caracterização da Máquina de Seebeck para reservatório com latas retangulares, com ênfase em parâmetros térmicos.....	45
Tabela 3 – Respostas quanto a questão 8 do questionário prévio	60
Tabela 4 – Dados de temperatura e do tempo de funcionamento da máquina térmica	66
Tabela 5 – Respostas quanto a questão 8 do questionário final	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – SEI: Gases e Máquinas Térmicas	21
Quadro 2 – Graus de liberdade intelectual professor/aluno em aulas experimentais.....	24
Quadro 3 – Níveis de investigação no laboratório de ciências.....	25
Quadro 4 – SEI adaptada para o Produto Educacional no 1º semestre de 2024.....	48
Quadro 5 – Respostas quanto a questão 1 do questionário prévio	52
Quadro 6 – Respostas quanto a questão 3 do questionário prévio	55
Quadro 7 – Respostas quanto a questão 4 do questionário prévio	56
Quadro 8 – Respostas quanto a questão 1 do questionário final	75
Quadro 9 – Respostas quanto a questão 3 do questionário final	77
Quadro 10 – Respostas quanto a questão 4 do questionário prévio	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Tensão em função da diferença de temperatura para caracterização do aparato experimental	46
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PEDAGÓGICA	16
2.1	CONSTRUCIONISMO	17
2.2	ENSINO INVESTIGATIVO	20
3	FUNDAMENTAÇÃO FÍSICA	26
3.1	EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE ENERGIA	26
3.2	AS LEIS DA TERMODINÂMICA	30
3.3	EFEITOS PELTIER E SEEBECK	34
3.4	CÁLCULO DE PARÂMETROS DE EFICIÊNCIA	36
4	METODOLOGIA	38
4.1	APARATO EXPERIMENTAL	38
4.2	UNIVERSO, SUJEITOS E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	47
5	APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL E RESULTADOS OBTIDOS	50
5.1	ENCONTRO 1: APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO PRÉVIO	50
5.2	RESPOSTAS E DISCUSSÃO DO QUESTIONÁRIO PRÉVIO	51
5.3	ENCONTRO 2: DISCUSSÕES ACERCA DA PROPAGAÇÃO CALOR	63
5.4	ENCONTRO 3: MONTAGEM DO APARATO EXPERIMENTAL	72
5.5	ENCONTRO 4: FINALIZAÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL	77
5.6	ENCONTRO 5: DISCUSSÃO ACERCA DO APARATO E A GERAÇÃO DE ENERGIA	67
5.7	ENCONTRO 5: RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO FINAL	73
5.8	DIFICULDADES E POSSIBILIDADES	83
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
	REFERÊNCIAS	88
	ANEXOS	92
	ANEXO A – Tabela de habilidades das competências, 1, 2 e 3 da BNCC a serem desenvolvidas	92
	APÊNDICE A – O PRODUTO EDUCACIONAL: SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE CALORIMETRIA E TERMODINÂMICA UTILIZANDO O EFEITO SEEBECK EM UM MOTOR TÉRMICO	94
	APRESENTAÇÃO	96
	A.1 SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA	96
	A.2 APARATO EXPERIMENTAL	96
	A.3 DESENVOLVIMENTO	96
	A.4 CONCLUSÕES	96
	A.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
	ANEXO A – Tabela de habilidades das competências, 1, 2 e 3 da BNCC a serem desenvolvidas	96

APRESENTAÇÃO	97
A.1 SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA	98
A.2 APARATO EXPERIMENTAL	100
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PRÉVIO E FINAL	117

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a sociedade tem se deparado com rápidas transformações nos campos da economia, política e no cotidiano, o que reflete diretamente no ambiente educacional. A educação, inserida nesse contexto, tem se adaptado constantemente às novas demandas de uma sociedade imersa em uma cultura de troca dinâmica e veloz de informações, impulsionada pela digitalização e pelo acesso instantâneo a diversos conteúdos.

Essas mudanças, no entanto, também revelam uma crescente carência de interações sociais presenciais, essenciais para o desenvolvimento pleno dos indivíduos, especialmente no contexto escolar. Nesse cenário, a educação deve proporcionar um ambiente acolhedor, capaz de promover um ensino que estimule processos instigantes e autônomos de aprendizagem, conforme destaca o Currículo de Pernambuco:

[...] o respeito às diversidades culturais, religiosas, étnicas, raciais, sexuais e de gênero não é apenas um princípio, mas também uma estratégia formativa para o desenvolvimento de crianças, jovens e adultos nas suas multidimensionalidades. [...] Ao se falar de inclusão, pressupõe-se o respeito às diversidades, a valorização das diferenças e, portanto, a necessidade de se repensar as práticas pedagógicas, considerando as especificidades de cada estudante e seu projeto de vida, possibilitando o acolhimento e a aprendizagem de todos no espaço plural escolar (Pernambuco, 2019, p. 21)

Sendo assim, a educação entra como prática norteadora para uma formação cidadã, devendo criar ambientes em que o discente possa discernir informações científicas no contexto digital, além de oferecer um ambiente de socialização na troca de saberes. Afinal, uma alfabetização científica deve fornecer embasamento científico para que o aluno seja capaz de ser crítico perante situações vinculadas às ciências e ao eixo social como um todo, preocupando-se tanto com o conhecimento de espaços formais quanto informais, como na internet (Lorenzetti, 2021).

Entretanto, para um ensino de ciências realmente efetivo, tornam-se necessárias novas práticas docentes, que estejam aliadas ao eixo social, assim como a alfabetização científica busca. Essa necessidade transparece nos dados do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA), que em 2022 apontou que 55% dos alunos não atingiram o nível básico de proficiência em ciências, e posiciona o Brasil em último colocado no ranking realizado com 78 países (Brasil, 2023).

Essa perspectiva é citada na Base Nacional Comum Curricular, BNCC (Brasil 2018), que menciona como essa defasagem impacta na interpretação do conhecimento científico e na prática do dia a dia:

[...] poucas pessoas aplicam os conhecimentos e procedimentos científicos na resolução de seus problemas cotidianos (como estimar o consumo de energia de aparelhos elétricos a partir de suas especificações técnicas, ler e interpretar rótulos de alimentos etc.). Tal constatação corrobora a necessidade de a Educação Básica – em especial, a área de Ciências da Natureza – comprometer-se com o letramento científico da população. (Brasil, 2017, p. 547)

Com isso, é necessário que o ensino seja voltado para o cotidiano do aluno, sendo sua aprendizagem significativa. A tarefa docente deve então preencher essas lacunas, intercalando também a adequação de um conteúdo que muitas vezes necessita de um suporte matemático e de abstrações para interpretação das teorias físicas (Dominguini, Vaquero, 2014). Em particular, quando se trata de assuntos como calorimetria e termodinâmica, é preciso se ater ao contexto do qual os conceitos físicos foram obtidos, uma vez que os conceitos associados ao calor foram construídos enquanto este era considerando substância. Na visão de Carvalho *et al.* (2014, p. 15) “isso leva o aluno a identificar o calor como substância. Para ela, não faz sentido a definição de calor como transferência de energia. Fica uma definição para entender e outra para decorar.”

Sabe-se que além da concepção histórica de calor ter se modificado ao longo da história, ela também entra em conflito com o cotidiano do estudante, que associa os conceitos de temperatura alta e calor como sinônimos. Isso é até mesmo reforçado por manchetes de jornais, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Erro conceitual em manchete de jornal

**Após termômetros marcarem
8°C de manhã, DF terá calor de
31°C à tarde**

Fonte: Vasconcelos, 2024.

Somado a isto, os documentos atuais da educação, como a BNCC (Brasil, 2018), demonstram a necessidade de fornecer um ensino em que o aluno possa confrontar interpretações do senso comum com as informações aceitas cientificamente na atualidade. Inclusive, o próprio Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) em uma de suas habilidades de Ciências da Natureza reforça essa necessidade para análise de proficiência do estudante:

Competência de área 1 – Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da

humanidade: H3 – Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas (INEP, 2012, p. 8)

A necessidade de que o estudante trabalhe esse tipo de habilidade surge pelo viés de que ele possa desenvolver um pensamento crítico sobre o mundo ao seu redor e as informações atreladas às ciências, reforçando a necessidade de uma alfabetização científica. Essa carência é uma problemática antiga, já que dados anteriores ao PISA de 2022 já mostram a defasagem no ensino de ciências, uma vez que desde a primeira aplicação do PISA no eixo de Ciências, o Brasil não conseguiu ultrapassar os 405 pontos (Globo, 2023). Feynman (2000) cita, sob sua óptica, como os estudantes de física no Brasil do século XX interagem com a disciplina de maneira mecanicista, decorando o conteúdo ao invés de compreendê-lo e até mesmo criticá-lo:

Depois de muita investigação, finalmente descobri que os estudantes tinham decorado tudo, mas não sabiam o que queria dizer. [...] Tudo estava totalmente decorado, mas nada havia sido traduzido em palavras que fizessem sentido. Assim, se eu perguntasse: ‘O que é o Ângulo de Brewster?’, eu estava entrando no computador com a senha correta. Mas se eu digo: ‘Observe a água’, nada acontece – eles não têm nada sob o comando ‘Observe a água’. (Feynman, 2000, p. 2)

A crítica de Feynman (2000) dialoga com a de Freire (2017), quanto a necessidade de implementar um ensino investigativo em detrimento de um ensino mecanicista. Para Freire (2017), o processo de busca e de conhecimento exige descobrimento, encadeamento e interpretação de problemas pelo próprio sujeito, não podendo reduzir essa investigação a um ato meramente mecânico. Entre um dos motivos, reside o fato de que esse modelo de ensino mais técnico não privilegia contextos histórico-culturais, o que distanciaria o estudante da interpretação correta de manchetes como a citada e de situações atreladas ao seu próprio cotidiano e de toda sua comunidade.

Diante do desafio complexo de promover o desenvolvimento estudantil, estimular o protagonismo do aluno, fomentar sua socialização e introduzir uma nova abordagem para o ensino de física, o ensino investigativo se apresenta como uma metodologia que estimula o pensamento crítico e está intrinsecamente ligado a uma alfabetização científica plena. Portanto, pensar em ensino com esse tratamento é trazer à tona uma prática de ensino de ciências voltada para formação cidadã. Ao abordar o conceito de calor, por exemplo, espera-se apresentar o conflito entre a concepção científica moderna e o conceito tratado no senso comum, conforme cita Carl Sagan (1996, p. 52):

Algumas pessoas consideram a ciência arrogante - especialmente quando pretende rebater opiniões arraigadas ou introduz conceitos bizarros que

parecem contraditórios ao senso comum [...] insistimos na verificação independente e - na medida do possível - quantitativa dos princípios propostos. Com frequência estimulamos, desafiamos, procuramos contradizíveis ou pequenos erros residuais persistentes, propomos explicações alternativas...

Essa perspectiva traz consigo não somente o viés científico, mas também a necessidade de trazer essa prática para fora do ambiente estritamente voltado para cientistas, em principal a necessidade de uma abordagem fundamentada na prática de ensino.

Além disso, no âmbito da Termologia e Termodinâmica, Silva e Errobidart (2019) realizaram uma análise de produção científica nacional, motivados pelas dificuldades advindas das concepções espontâneas relacionadas a conceitos como temperatura, energia interna, trabalho e calor. Buscando especificamente os artigos voltados para o Ensino da Termodinâmica, entre 2003-2017, apenas 26 artigos publicados em periódicos nacionais com extrato Qualis no Ensino de Ciências entre A1 e B2 abordavam o Ensino da Termodinâmica, e destes, apenas cinco realizavam atividades experimentais. Desse quantitativo, nenhum deles apresentava uma experimentação centrada em máquinas térmicas. Segundo Silva e Errobidart (2019, p. 570) “percebe-se que o cerne das discussões em todos os trabalhos visava a partir de várias óticas estabelecer diferenças entre as concepções espontâneas e científicas por meio do emprego de atividades experimentais.”. Essa preocupação reforça a ótica de diversos docentes quanto a necessidade de atividades que reformulem os conceitos criados pelo senso comum.

Outro aspecto importante desse levantamento é o fato de que quatro desses trabalhos tiveram foco nas definições de calor e temperatura, fugindo do escopo da propagação de calor e das demais Leis da Termodinâmica além da Lei Zero. Isso demonstra a carência que a literatura científica tem quanto a trabalhos voltados a demais eixos, assim como a necessidade da variabilidade conteudista em práticas experimentais.

Entretanto, alinhado à necessidade de uma prática mais ativa, é essencial que a atividade experimental não seja conduzida de forma verticalizada, na qual o professor apenas apresente seu ponto de vista, como destacado por Carvalho. (2014, p. 9):

Desde que a Física começou a ser ensinada em nível médio, as aulas de laboratório foram ditas fundamentais para a aprendizagem dos alunos. Entretanto, até o final dos anos cinquenta (mas em muitas escolas até hoje), eram empregadas, predominantemente, como forma de ilustração e confirmação de informações apresentadas pelo professor, e os estudos tinham pouca liberdade na realização das mesmas, limitando-se a seguir roteiros rígidos para a verificação de teorias.

O ensino investigativo, nesse contexto, configura-se como uma abordagem essencial para romper com a lógica tradicional de transmissão passiva de conteúdo. Ele propõe a construção ativa do conhecimento pelo estudante, por meio da problematização de situações,

formulação de hipóteses, coleta e análise de dados e elaboração de conclusões. Essa metodologia valoriza o questionamento, a autonomia e o protagonismo do aluno no processo de aprendizagem, promovendo um ambiente em que o erro é parte do processo e não apenas um desvio. Além disso, o ensino por investigação favorece a contextualização dos conteúdos científicos, conectando-os com situações reais e cotidianas, o que contribui para a formação de cidadãos críticos e capazes de aplicar o conhecimento científico em diferentes esferas da vida. Ao integrar essa proposta a atividades experimentais, amplia-se a capacidade de compreensão conceitual dos estudantes, sobretudo em temas tradicionalmente abstratos como a termodinâmica.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo geral: Propor uma sequência didática com abordagem investigativa baseada no efeito Seebeck para a compreensão dos conceitos de termodinâmica e dos mecanismos de propagação de calor no ensino médio. Enquanto os objetivos específicos são:

- Identificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre conceitos associados a calor, energia e suas formas de propagação, assim como as concepções apresentadas durante a atividade de ensino investigativo e ao final da sequência didática.

- Avaliar a eficácia do produto educacional, tanto em sua abordagem investigativa quanto na promoção da aprendizagem ativa e no favorecimento da autonomia e protagonismo dos estudantes;

- Estimular a construção de conceitos científicos a partir da problematização, experimentação e do confronto com o senso comum;

- Promover a socialização de ideias e a argumentação entre os estudantes, favorecendo o pensamento crítico.

- Elaborar uma sequência, no produto educacional, da proposta didática apresentada, com o objetivo de auxiliar os professores de Física durante o ensino de conceitos associados aos mecanismos de propagação de calor e termodinâmica.

O referencial teórico está organizado de forma que antes de iniciar os tópicos há uma breve contextualização da base teórica a ser comentada. Ao tratar do construcionismo e do ensino investigativo, é válido antes entender suas origens na epistemologia de Piaget e o sociointeracionismo de Vygotsky.

Para alcançar os objetivos propostos, esta dissertação foi organizada em seis capítulos. No primeiro capítulo, é apresentada a introdução, com a contextualização do problema de

pesquisa, os objetivos e a justificativa do trabalho. O segundo capítulo traz a fundamentação teórica pedagógica, abordando o Construcionismo de Papert, a Teoria Histórico-Cultural de Vygotsky e os princípios do Ensino por Investigação, que embasam a proposta metodológica. O terceiro capítulo apresenta os conceitos físicos relevantes ao produto educacional, com foco na termodinâmica, na propagação de calor e nos efeitos Seebeck e Peltier. O quarto capítulo descreve o *design* metodológico, incluindo o aparato experimental desenvolvido, o público-alvo e a sequência de aplicação em sala de aula. Por fim, o quinto capítulo apresenta as análises e discussões dos resultados obtidos com a aplicação do produto educacional, seguido pelo 6º capítulo, apresentando as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PEDAGÓGICA

Compreender a natureza sob o viés da Física deve proporcionar ao estudante não somente a compreensão de fenômenos da natureza, mas principalmente entender os processos associados à sua vivência e em seu contexto social, cultural e econômico. Essa aprendizagem que conecta o cotidiano do aluno com um saber é o que lhe fornece autonomia para uma prática transformadora do conhecimento científico natural em conhecimento científico social, favorecendo o enriquecimento cultural do estudante e do caráter científico de toda comunidade (Santos, 2002).

Entretanto, para o processo de ensino englobar o desenvolvimento de um pensamento crítico nos estudantes, é necessário propiciar um ambiente motivacional, em que o aluno possa se sentir incentivado a participar da construção de seu conhecimento. Esse debate envolve diversos teóricos da educação, conforme cita Zompero *et al.* (2019, p. 226):

Moran (2015) enfatiza que teóricos como Dewey, Freire, Rogers, Novack, entre outros, comentam sobre a importância de suplantando uma educação bancária, tradicional e evidenciar a aprendizagem do aluno, envolvendo-o, motivando-o e dialogando com o estudante. Nesse sentido, Moran (2015) afirma que aprendemos de forma ativa, desde que nascemos e no decorrer da vida, pois nos defrontamos com desafios complexos, combinando situações flexíveis e semiestruturadas, em todos os aspectos seja, pessoal, profissional, social.

O trecho acima traz consigo, também, a necessidade de aproximar a educação do contexto estudantil, e a menção de que o estudante possui conhecimentos prévios que devem fazer parte do processo educacional. Piaget (1978) descreve que essa característica é o que torna a educação possível e o que proporciona a construção do conhecimento em níveis mais complexos. Para ele, a construção do conhecimento e evolução do pensamento crítico advêm da interação sujeito/objeto, onde uma das principais etapas dessa aprendizagem abrange a percepção concreta dos objetos, ou seja, a interação direta dos sentidos humanos com materiais a serem analisados. Segundo a ideia de Piaget (1978), essa etapa, além de anteceder a abstração, é um processo fundamental para sua formação. Esse paradigma está presente nos Parâmetros Curriculares Nacionais (1999, p.24), que mencionam:

As noções de transformação e conservação de energia, por exemplo, devem ser cuidadosamente tratadas, reconhecendo-se a necessidade de que o “abstrato” conceito de energia seja construído “concretamente”, a partir de situações reais, sem que se faça apelo a definições dogmáticas ou a tratamentos impropriamente triviais.

Essa interpretação acerca da interação do estudante com o mundo físico aparece, também, em Vygotsky (1991) que traz consigo o diálogo entre a aprendizagem e as relações sociais e culturais do indivíduo, reforçando o indivíduo como agente ativo no processo. Vygotsky (1991) menciona, também, que não se trata somente de fazer com que o estudante obtenha corretamente um conjunto de dados, mas sim que os métodos aplicados forneçam ao estudante meios de adquirir significados por meio da atividade, conforme menciona:

Para que um experimento sirva como meio efetivo para estudar o curso do desenvolvimento de um processo, ele deve oferecer o máximo de oportunidades para que o sujeito experimental se engaje nas mais variadas atividades que possam ser observadas, e não apenas rigidamente controladas (Vygotsky, 1991, p. 14).

A interação social é primordial, será com ela que o estudante poderá construir o conhecimento de maneira social, histórica e cultural (Moreira, 2011). Sob essa concepção da necessidade de interação do indivíduo com o meio para a construção do conhecimento, alimentado da ótica de uma aprendizagem voltada para o estudante protagonista e inserido em um meio social surge as concepções do Construcionismo e o Ensino Investigativo.

2.1 CONSTRUCIONISMO

Seymour Papert foi um matemático, cientista da computação e educador sul-africano, amplamente reconhecido por suas contribuições à educação por meio do uso da tecnologia. Trabalhou com Jean Piaget no estudo do desenvolvimento cognitivo infantil e, mais tarde, tornou-se pesquisador, onde desenvolveu a linguagem de programação Logo. Papert é o criador da teoria do construcionismo, que propõe que a aprendizagem ocorre de forma mais eficaz quando os alunos constroem ativamente objetos significativos em contextos reais, integrando pensamento crítico, criatividade e experimentação.

O construcionismo de Seymour Papert é fortemente baseado no construtivismo de Piaget, mas também inspirado em Vygotsky, Dewey e Freire. Ao mencionarmos uma aprendizagem que fomente a autonomia do estudante e favoreça a formação de um pensamento crítico é imprescindível citar o construcionismo, uma vez que essa pedagogia parte do princípio de que o próprio estudante irá construir suas estruturas cognitivas por meio da interação com o mundo.

Papert (1993), em sua teoria construcionista, critica a aprendizagem tradicional baseada em instruções, indicando que a criança não será capaz de responder a desafios do cotidiano caso seja estimulada apenas a respostas reativas, em que não há necessidade de

autonomia e estímulos cognitivos. Essa carência reflete a necessidade de mudança na educação de ciências, que para Papert, um dos mecanismos para que o aluno passe a ter protagonismo e estar mais próximo de situações complexas sem respondê-las de maneira mecânica é fornecer materiais e dispositivos que possam permitir o erro, conforme o pensamento de Dewey, retirando restrições que diminuam a sua iniciativa. (Fino, 2017)

O cerne do construcionismo está então em fazer com que o aluno possa realizar por si só a atividade/experimentação, permitindo que seus próprios erros e acertos o leve a obter conclusões acerca do objeto estudado. Aqui o pensamento abstrato não deve ser ignorado, a abstração, assim como no entendimento de Piaget, faz parte do processo de conclusão mediante o contato com o material, conforme cita Papert (1991, p. 4, tradução nossa):

A definição mais simples de construcionismo evoca a ideia de aprender fazendo [...] construir e brincar com castelos de areia, famílias de bonecas, casas de Lego e coleções de cartas fornecem imagens de atividades que estão bem enraizadas nas culturas contemporâneas e que plausivelmente entram em processos de aprendizagem que vão além de habilidades estreitas e específicas.

Nessa concepção, o aprender fazendo evoca a contextualização tecnológica, remetendo essa prática ao uso de tecnologias, programas e softwares. Para Papert, o computador deve ser uma ferramenta presente nas escolas, se aproximando da realidade estudantil e não afastando-a como no modelo tradicional. Santos; Santo; Silva (2020, p.64) trazem a perspectiva freireana presente nessa linha de pensamento de inovação pedagógica: “compreende-se que é necessário repensar, redirecionar a prática pedagógica até então desenvolvida no âmbito escolar, romper com esses paradigmas fabris significa criar novas alternativas de aprendizagem.”

Essa inserção à tecnologia pode ocorrer ao trazer para o ambiente escolar não necessariamente computadores ou dispositivos eletrônicos de alto custo, mas sim materiais, circuitos, dispositivos e simulações atrelados ao cotidiano e que possam ser fornecidos para o aluno manusear, incorporando as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) na educação.

Sabe-se que a física tem um papel importantíssimo no desenvolvimento tecnológico atual, que impacta completamente a sociedade, assim como cita Cox (2016, p. 152):

Em termos práticos, a tecnologia moderna salvou milhões de pessoas - podemos citar as aplicações computadorizadas em hospitais, os benefícios dos rápidos e confiáveis sistemas de comunicação global e os usos controle de complexos processos industriais. Portanto, estreitar essa relação do estudante com os equipamentos eletrônicos, fornecendo meios para que ele

possa explorar suas utilidades, diminuem (diminui) a distância que o estudante enxerga entre a Física, que possui papel importantíssimo no avanço científico, com seu cotidiano.

Sendo assim, o Ensino de Física deve propiciar mecanismos funcionais que removam essa lacuna, assim como afirma Medeiros (2016, p. 9):

Vivemos em uma época em que a Ciência e a Tecnologia estão cada vez mais presentes no dia a dia das pessoas. Assuntos como organismos geneticamente modificados, clones, células-tronco, aquecimento global, alimentos orgânicos, animais em extinção e tantos outros estão presentes na mídia constantemente. Uma análise crítica sobre estes assuntos requer conhecimentos em Ciências, sem os quais uma avaliação sobre os mesmos pode ser insuficiente ou nem sequer ser realizada. Dessa forma, a compreensão do conhecimento científico é fundamental para que os indivíduos interpretem o mundo e atuem como cidadãos conscientes na sociedade em que estão inseridos.

Apesar do construcionismo de Papert está atrelado a essas concepções, há uma ênfase no desenvolvimento de projetos educacionais voltados para infância e especificamente para o uso de computadores. Porém, o cenário em que Papert introduz suas ideias voltadas para educação são diferentes do cenário atual, e hoje a disponibilidade de tecnologia e o que enquadramos como “computadores” engloba muito mais do que um computador de mesa. De acordo com Soffner (2022), Papert projetava uma escola cujo cerne seria aprender como usar a tecnologia digital e encarar seus desafios, retirando o caráter de memorização do processo, conforme afirma “ao invés de se ensinar a uma criança o que é uma árvore, permitia-se a ela descobrir como a natureza cria, de fato, uma árvore”. A descoberta e a curiosidade podem ser elementos promotores da aprendizagem, e isso é um salto epistemológico de grandes proporções (Soffner, 2022).

Ao pensar em eixos temáticos como a Termologia, por exemplo, o construcionismo aparece com uma ferramenta para retirar a abstração de conceitos atrelados a temperatura, e calor, segundo o próprio Papert (2008):

Um tema central da minha mensagem é que a tendência dominante a supervalorizar o abstrato é um sério obstáculo ao progresso na educação. Uma das várias formas pelas quais minha concepção de que aprender pode tornar-se muito diferente é que isso poderá acontecer por uma inversão epistemológica para formas mais concretas de conhecer uma inversão da ideia tradicional de que o progresso intelectual consiste em passar do concreto para o abstrato. (Papert, 2008, p. 133)

Esse processo de descoberta é essencial no ensino de ciências, pois proporciona ao aluno a vivência necessária para que ele construa uma base sólida antes de avançar para conceitos mais complexos. Nesse sentido, o Ensino de Física deve apoiar-se nessa abordagem,

adotando metodologias que integrem a interação concreta de Piaget, a mediação social de Vygotsky e a construção ativa de Papert. Ao proporcionar ao estudante um ambiente onde ele possa investigar, experimentar e construir, promove-se não apenas a aprendizagem científica, mas também propõe um alicerce a capacidade de interpretar criticamente o mundo, atuando como um cidadão consciente e engajado socialmente.

Por fim, nesse contexto, não basta que a atividade tenha um caráter experimental. Quando se trata de uma atividade focada na experimentação, um roteiro que não promove a reflexão por parte dos estudantes faz com que eles não compreendam o processo como um todo, limitando-se a apenas reproduzir os passos e aguardando o resultado final, remetendo novamente a um processo mecanicista, conforme traz Freire:

Não pode haver conhecimento pois os educandos não são chamados a conhecer, mas a memorizar o conteúdo narrado pelo educador. Não realizam nenhum ato cognoscitivo, uma vez que o objeto que deveria ser posto como incidência de seu ato cognoscente é posse do educador e não mediatizador da reflexão crítica de ambos (Freire, 2017, p. 45)

Além disso, é importante que os estudantes atuem com monitoramento, já que não há total compreensão de, por exemplo, quais materiais seriam utilizados. O construcionismo não compactua de apenas deixar que o aluno explore caminhos aleatórios, mas sim que os estudantes possam ter um grau de liberdade alto nas tomadas de decisões principais quanto aos desafios. Para isso, o ensino investigativo é proposto e utilizado como uma ferramenta de fornecer autonomia estudantil, tendo como principal referência Anna Maria Pessoa de Carvalho, cujo estudo fundamentou a análise de graus de liberdade neste estudo.

2.2 ENSINO INVESTIGATIVO

Sob a necessidade de um ensino mais ativo com o aluno atuante no processo, Carvalho (2013, p.2) explica o ensino investigativo:

No ensino expositivo toda a linha de raciocínio está com o professor, o aluno só segue e procura entendê-la, mas não é o agente do pensamento. Ao fazer uma questão, ao propor um problema, o professor passa a tarefa de raciocinar para o aluno e sua ação não é mais a de expor, mas de orientar e encaminhar as reflexões dos estudantes na construção do novo conhecimento. (Carvalho, 2013, p. 2)

O ensino investigativo dialoga também com a BNCC (Brasil, 2017), uma vez que o termo “protagonismo” aparece diversas vezes no documento. Ademais, o documento traz também em suas competências destaques para a comunicação, pensamento científico, crítico e a argumentação, o que reforça a aplicabilidade do ensino investigativo.

Para todas essas causas mencionadas anteriormente de privilegiar os conhecimentos prévios do estudante, inserir uma educação contextualizada e fornecer conhecimentos das leis físicas em suas totalidades, o ensino por investigação conta com as Sequências de Ensino Investigativas (SEIs), uma atividade com sequências e interações didáticas pré-definidas, visando a introdução de um problema para os alunos que envolva o assunto a ser trabalhado do conteúdo programático, mas de forma que os estudantes possam discutir as variáveis envolvidas no processo e estabeleçam hipóteses de resolução dentro do contexto. (Carvalho, 2013)

O Quadro 1, retirado do livro *Calor e temperatura: um ensino por investigação*, cuja organizadora é Anna Maria Pessoa de Carvalho, retrata um exemplo de uma SEI para alguns dos conteúdos programáticos no eixo de Termodinâmica. As atividades propostas estão adaptadas para o local de ensino de aplicação dessa SEI, de forma que o “Capítulo 4” e o “Capítulo 6”, por exemplo, referem-se ao capítulo do material didático utilizado para essa SEI em específico. A adaptação, nesse caso, foi apenas ajustes de recorte para sintetizar as informações.

Quadro 1 – SEI: Gases e Máquinas Térmicas

Conteúdo	Atividades	Observações
Gases	Usar texto de apoio ou algum vídeo para introduzir as variáveis de estado de um gás.	Retomar o conceito de gás, conceituar pressão, retomar os conceitos de volume e temperatura, aplicando-os aos gases.
Lei dos Gases	Simulação conforme Capítulo 6	Utilizar, de preferência, exercícios abertos, relacionados ao cotidiano dos alunos.
	Exercícios de lápis e papel	
Motor 4 tempos	Uso de simulação conforme Capítulo 6	Tomar cuidado para que o professor mantenha o caráter investigativo, pois é muito fácil, nessa atividade, transformá-la numa aula expositiva.
Fechamento do conteúdo	Questões abertas 15 e 16 (Capítulo 4)	

Fonte: Adaptado de Carvalho (2014, p. 40)

Como mencionado, a SEI apresenta uma sintaxe das atividades propostas. Para este trabalho, a SEI pontuará alguns aspectos práticos na aplicação do produto educacional, e de pretensões anteriores ao produto educacional, reforçando a atenção do professor quanto a

alguns aspectos teóricos e metodológicos para evitar a redução de graus de liberdade do estudante e do aspecto investigativo e construcionista.

Além dos pontos já citados, Carvalho (2014, apud Bellucco, Carvalho) também menciona que um dos principais pontos para que a SEI não somente seja bem executada, mas também que a interação com os alunos durante o processo seja a melhor possível, é a relação entre ciência, tecnologia e sociedade, assim como a passagem da linguagem cotidiana para a linguagem científica, pois os alunos precisam ser privilegiados em suas falas, tanto na linguagem quanto nas ideias. Para mais, capacitar para que os alunos tenham uma relação mais estreita com o âmbito científico, assim como o contato com a metodologia científica também são habilidades a serem desenvolvidas nos estudantes.

Sendo assim, a construção de um SEI envolve abordagens precisas para que toda sua potencialidade seja alcançada. As abordagens para o ensino investigativo, propostas por Carvalho (2014) estão presente na Figura 2, que apresenta um mapa conceitual de abordagens investigativas, elaborado por Matheus Fernandes Mourão (Mourão e Sales, 2018) com base nos trabalhos de Anna Maria Pessoa de Carvalho. Em todas elas o professor deverá incentivar a discussão e fornecer um material base para os alunos, seja preparando problemas e questões abertas ou até propiciando a realização de um experimento.

Figura 2 – Mapa conceitual de abordagens investigativas



Fonte: Mourão e Sales (2018, p. 432)

As atividades propostas na sequência devem então respeitar as abordagens do ensino investigativo conforme apresenta a Figura 2. Por fim, a SEI produzida neste trabalho pretende estimular e provocar os alunos a interagirem e participarem de atividades experimentais na

física, promovendo a discussão em sala de aula e permitindo a construção de uma máquina térmica por intermédio da perspectiva construcionista.

2.3 DESENVOLVIMENTO DE HABILIDADES E GRAUS DE LIBERDADE

As habilidades descritas no Anexo A, relacionadas às competências da BNCC (Base Nacional Comum Curricular), focam no desenvolvimento de capacidades que envolvem a análise, previsão e construção de soluções científicas em áreas como energia, sustentabilidade e tecnologias digitais. Essas habilidades visam formar alunos capazes de pensar criticamente sobre fenômenos naturais e tecnológicos, além de propor intervenções e soluções sustentáveis em diferentes contextos, assim como exposto na fundamentação teórico.

O produto educacional pretende então desenvolver essas habilidades, não apenas para atender a legislação vigente, mas também sob o viés de fomentação científica. A habilidade EM13CNT101, por exemplo, retrata a habilidade de analisar e representar conceitos associados a conservação de energia e movimento. Esse aspecto entra na proposta do produto de obter formas de energia no âmbito da sustentabilidade, permeando a habilidade EM13CNT102.

Como a segunda série do ensino médio não possui conteúdo programático que contemple eletricidade, a transformação de energia mecânica em elétrica será retrata superficialmente, envolvida no processo da placa Peltier, dos fios condutores e do motor elétrico, o que contempla as habilidades EM13CNT106 e EM13CNT107.

Além disso, a metodologia investigativa adotada no trabalho, que envolve a experimentação direta, ajuda a desenvolver o pensamento crítico e as previsões científicas, competências centrais da BNCC. O ensino investigativo estimula os alunos a participarem ativamente da construção do conhecimento, o que favorece o desenvolvimento das habilidades de análise, representação de dados e interpretação de modelos experimentais, como previsto nas habilidades EM13CNT307 e EM13CNT308.

Por fim, os graus de liberdade, propostos por Anna Maria Pessoa de Carvalho, presentes no livro *Calor e temperatura* (2014), estão diretamente associados ao ensino investigativo e são fundamentais para compreender a autonomia do aluno no processo de ensino-aprendizagem. Esses graus de liberdade referem-se à quantidade de controle que o aluno tem sobre as diferentes etapas de uma atividade, desde a formulação do problema até as conclusões. A ideia é que, quanto mais liberdade o aluno tiver em cada etapa, mais ativo e protagonista ele será no processo de construção do conhecimento.

No contexto da SEI, a proposta deverá favorecer os níveis mais elevados de liberdade. Isso ocorre porque os alunos não só devem executar os experimentos, mas também têm a oportunidade de formular hipóteses e tomar decisões ao longo da prática experimental, o que envolve a escolha do material e o design do aparato em si. Assim, o professor assume um papel de monitor e facilitador, em vez de ser o único detentor do conhecimento.

Essa abordagem está alinhada ao ensino por investigação, como descrito por Carvalho, onde o processo de aprendizagem envolve maior participação ativa do aluno. Na proposta apresentada no trabalho, o objetivo é justamente permitir que os alunos tenham a liberdade de construir suas próprias soluções, desenvolvendo habilidades essenciais, como o pensamento crítico, a capacidade de formular e testar hipóteses, e a análise de resultados experimentais — todas habilidades destacadas na BNCC anteriormente. Com isso, a Quadro 2 apresenta os graus de liberdade intelectual nas aulas experimentais, dividida em graus conforme a participação do discente. Para o Grau I, quase que todo o experimento é centrado no professor, por meio da elaboração de problema, hipótese e outros, conforme mostra a tabela. Já no maior grau de liberdade, o Grau V, o estudante possui controle quase que total de toda a parte experimental da aula proposta. Importante reforçar que essa análise de graus de liberdade é específica para atividades experimentais, já que leva em conta etapas que necessariamente se aplicam a essas aulas, mas não necessariamente a outros modelos.

Nesse caso, o professor também faz parte do processo de análise devido à necessidade avaliativa, porém é conferido aos alunos total autonomia em cada um dos processos, dando ao professor, nesses casos, um caráter de tutor/monitor, auxiliando os alunos quando julgam necessário.

Quadro 2 – Graus de liberdade intelectual professor/aluno em aulas experimentais

	Grau I	Grau II	Grau III	Grau IV	Grau V
Problema	Professor	Professor	Professor	Professor	Aluno
Hipóteses	Professor	Professor	Professor	Aluno	Aluno
Plano de trabalho	Professor	Professor	Aluno	Aluno	Aluno
Obtenção de dados	Aluno	Aluno	Aluno	Aluno	Aluno
Conclusões	Professor	Aluno	Aluno	Aluno	Aluno

Fonte: Carvalho (2017, p. 39)

Por fim, Borges (apud Carvalho, 2013, p. 72) propõe a Quadro 3 para caracterizar o nível de investigação em atividade de laboratório. Nessa classificação, o nível 2 é caracterizado como Laboratório Aberto. Segundo Carvalho (2013, p. 72): “o grupo de alunos buscará o procedimento para resolvê-lo e chegar às conclusões... sendo o mais importante o envolvimento comprometido com a busca de respostas bem articuladas.”

Essa definição de laboratório aberto reside no fato de, como apresentado na Tabela, as conclusões serem tomadas pelos estudantes, identificados na Tabela 2.2 como “Em aberto”. A rotulação de “Fornecer”, refere-se ao fato de o professor fornecer o enunciado do problema, procedimento ou conclusão, retirando a autonomia estudantil.

Quadro 3 – Níveis de investigação no laboratório de ciências

Nível de investigação	Enunciado do problema	Procedimento	Conclusões
0	Fornecer	Fornecer	Fornecer
1	Fornecer	Fornecer	Em aberto
2	Fornecer	Em aberto	Em aberto
3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Fonte: Adaptado de Borges (apud Carvalho, 2013, p. 72)

Sendo assim, o objetivo das atividades experimentais deve ser de propiciar mecanismos para que o estudante construa seu próprio conhecimento, baseado em seu conhecimento de mundo e nos princípios da alfabetização científica.

3 FUNDAMENTAÇÃO FÍSICA

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos da Física que embasam o desenvolvimento do produto educacional, com foco nos conceitos de energia, calor e suas formas de propagação. Inicialmente, é discutida a evolução histórica do conceito de energia, passando pelas contribuições de Descartes, Leibniz e outros, até alcançar a concepção moderna. Em seguida, abordam-se as leis da termodinâmica e suas implicações para o entendimento do funcionamento de máquinas térmicas. Por fim, são explorados os efeitos Peltier e Seebeck, que fundamentam o funcionamento do dispositivo experimental construído, bem como os parâmetros de eficiência utilizados para a análise do desempenho do sistema.

3.1 EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE ENERGIA

Os conceitos associados a propagação de calor, temperatura, trabalho e outros que envolvem a natureza deste produto educacional possuem larga discussão na física. Ao conceituar o calor, associando-o a uma troca de energia térmica, deve-se compreender o conceito de energia, que ao longo da história sofreu diversas modificações e acréscimos, conforme contexto histórico-cultural da sociedade.

Para este produto, o desenvolvimento histórico do conceito de energia e como esse conceito é desenvolvido até a conceituação do calor é importante, pois é de se esperar que os estudantes possuam conhecimentos prévios conceituais associados ao senso comum. Além disso, a conceituação física que os estudantes possuem de energia, antes da energia térmica e calor, é o de energia mecânica e sua conservação, sendo o professor do tronco curricular da segunda série do ensino médio responsável por estabelecer essa conexão ao longo do semestre letivo.

Ao retomar o histórico da mecânica como um todo, diversos filósofos e cientistas contribuíram para seu avanço. Aristóteles (384-322 a.C.), por exemplo, foi um dos primeiros filósofos cujo registros apresentam desenvolvimento de ideias sobre esse campo da física. Embora seus conceitos sejam muito diferentes dos aceitos atualmente, Aristóteles buscava justificar e analisar o movimento como um todo. Porém, a ideia inicial de energia, em especial a mecânica, surge apenas na busca de quais grandezas físicas estavam atreladas a grandeza física força. Essa discussão levou a designação dos conceitos iniciais de momento e energia, discutida por grandes nomes:

Galileu, por exemplo, utilizava o termo ‘momentum’ afirmando que o ‘momentum’ era aquela força (virtude) que dependia não apenas do peso, mas também da velocidade do movimento (Jammer, 1999, pp. 98-99). Descartes (1644), por seu turno, assumia que a força de um corpo era determinada por aquilo que na mecânica medieval havia sido denominado de “impetus”, ou seja, o produto da massa pela velocidade de um corpo em movimento. Descartes denominava tal grandeza de “motus”, ou alternativamente de “vis motus”, enquanto Newton a havia denominado de “quantitas motus”, embora, na prática, também a denominasse simplesmente de “motus” (Koiré, 1965 apud Medeiros, 2001).

Porém, a formalização do termo energia só passa existir muito tempo depois de Aristóteles. Em especial, mediante Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), que introduzia não somente a ideia de energia, mas também de sua conservação:

[...] é conforme a razão assumir a conservação da força motriz total, que nem diminui (pois vemos que nenhuma força é perdida em um corpo sem que se transfira para um outro), nem aumenta (o movimento perpétuo não pode ser verificado em nenhum lugar, enquanto nenhuma máquina e, por isso, nem menos o Universo pode acrescentar a própria força sem um novo impulso externo). (Leibniz, 1696 apud Lino, 2018)

Contrapondo a ideia cartesiana da época, Leibniz apresenta o que ele denominou como “*vis viva*”, associando a força de um corpo a conservação do produto da massa pelo quadrado da velocidade. Embora seu trabalho não tenha sido plenamente compreendido ou aceito na época, ele foi essencial para a evolução do conceito de energia, recebendo contribuição dos trabalhos de Descartes e D’Alembert (Medeiros, 2001, p. 66).

Com efeito, a crescente de estudos associado a conservação de propriedades físicas e químicas, assim como a análise da concepção trazida por Leibniz, permitiu, com auxílio da Revolução Química, a construção da concepção de conservação de massa e do conceito de calórico, conforme cita Bucussi (2006, p. 8):

Lavoisier (1743-1794), considerado pai da química, que, em primeiro lugar, conseguiu “comprovar que o ar era uma composição de elementos, entre eles o oxigênio, o qual, além de conter massa, participava das combustões”, possibilitando-lhe, a partir disso, e da realização de novas experiências de combustão, chegar ao seu famoso enunciado da Lei da Conservação da Massa: “no universo nada se cria nem se destrói, tudo se transforma”. Em segundo lugar, por ter em 1789 publicado um livro, “Elementos de Química”, onde relacionou 23 substâncias consideradas por ele como autênticas, estando entre elas relacionado também o “calor”, identificado como um “fluido” e denominado de “calórico”.

Ainda segundo Bucussi (2006), a teoria do calórico foi aprimorada pelo químico escocês Joseph Black (1728 – 1799), que introduziu os conceitos de caloria, capacidade calorífica, calor latente e calor sensível. Halliday, Resnick e Walker (2002, p. 148) definem a

capacidade calorífica como uma constante de proporcionalidade que relaciona a quantidade de calor ΔQ que o corpo absorve em função de sua variação de temperatura ΔT :

$$\Delta Q = C \Delta T. \quad (1)$$

Sendo T_i e T_f a temperatura inicial e final, respectivamente, é possível escrever a expressão por:

$$\Delta Q = C \Delta T = C(T_f - T_i). \quad (2)$$

A equação 2 é conhecida como a equação fundamental da calorimetria, de forma que para m gramas de uma substância:

$$C = m_1 c_1 + m_2 c_2 + \dots + m_n c_n. \quad (3)$$

Onde c refere-se ao calor específico, que é a quantidade de calor necessária para que cada unidade de massa de uma substância sofra uma variação de temperatura correspondente a 1 K. No caso em que é necessário levar em conta a variação de calor específico em função da temperatura, onde $c = c(T)$:

$$\Delta Q = \int_{T_i}^{T_f} c(T) dT. \quad (4)$$

Halliday, Resnick e Walker (2002, p. 148) ainda salientam que “a analogia com a capacidade de um balde armazenar água é falsa, já que o corpo não ‘contém’ calor.” Esse paralelo histórico e a concepção dessa ideia trazida pelos autores é de suma importância para o produto, já que um dos objetivos é trazer uma nova conceituação diferente do senso comum, de que o calor é um aspecto inerente a um corpo, como o fluido predito anteriormente. Essa menção já traz uma definição de calor sob o ponto de vista contemporâneo, que segundo o Tipler e Mosca (2012, p. 60):

Calor é a transferência de energia em razão de uma diferença de temperatura. Durante o século XVII, Galileu, Newton e outros cientistas concordavam de maneira geral com a teoria dos antigos atomistas gregos que consideravam a energia térmica como uma manifestação do movimento molecular. Durante o século seguinte foram desenvolvidos métodos para realizar medidas quantitativas da quantidade de energia transferida em função de diferenças de temperatura e se verificou que, se corpos estão em contato térmico, a quantidade de energia liberada por um dos corpos é igual à quantidade de energia absorvida pelo outro corpo. Esta descoberta levou a uma teoria segundo a qual o calor era considerado uma substância material conservada. De acordo com esta teoria, um fluido invisível chamado de "calórico" fluía de um dos corpos para entrar no outro, e este calórico não poderia nem ser criado nem destruído.

Os autores, além de trazerem a concepção científica atual, estabelecem o paralelo levantado anteriormente. Sabe-se que essa discussão acerca do calórico, junto a Revolução

Química, permitiu uma descrição formal acerca da conservação do calórico. Sendo A e B duas amostras quaisquer:

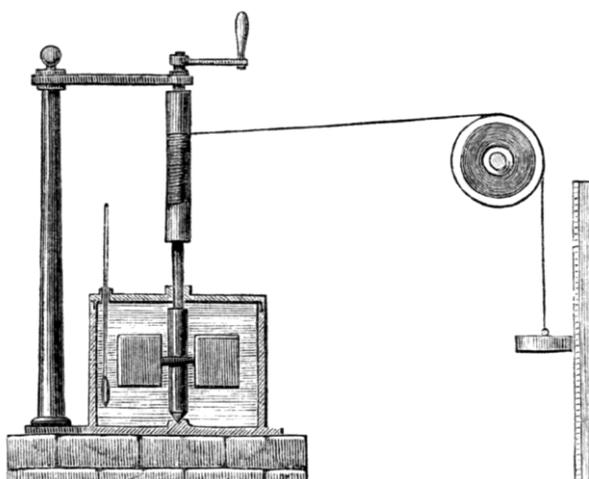
$$\Delta Q_A + \Delta Q_B = 0. \quad (5)$$

Essa concepção é um dos pilares para a apresentação, a nível do Ensino Médio, das formas de propagação de calor e, posteriormente, da Primeira Lei da Termodinâmica. No caso deste produto educacional, espera-se que os estudantes já tenham tido contato inicial com a equação fundamental da calorimetria que, apesar de remeter a ideia de calor e a variação de temperatura, ainda não traz a tona como esse calor é propagado e seu potencial mecânico.

Atualmente, essa conservação é coerente baseado na associação do calor a energia térmica em trânsito. Porém, a dificuldade em se estabelecer a “lei de conservação do calórico” há séculos atrás culminou, devido a concepção do calórico, nas observações de Conde de Rumford (1753 – 1814), que observou o aquecimento de canhões em oficinas do arsenal de Munique por intermédio do atrito. As conclusões de Rumford, junto aos experimentos de Joule e Carnot, exauriram a teoria do calórico, auxiliando na concepção moderna de calor que se conhece hoje, estando associado ao movimento vibratório de partículas de um corpo.

Ao longo dos anos, diversas áreas da física avançaram, trazendo a conversão das mais diversas formas de energia. Porém, apenas em 1849 James Prescott Joule (1818-1889) demonstrou experimentalmente a equivalência entre trabalho mecânico e calor, encontrando para o seu equivalente o valor de $1 \text{ cal} = 4,15 \text{ J}$, bem próximo do utilizado atualmente (4,18 J, aproximadamente). Junto a Rudolf Clausius (1822 – 1888), Joule assumiu que o calor estava relacionado a energia cinética das partículas que constituem os corpos (Bucussi, 2006, p. 13). A Figura 3 simboliza o esquema utilizado por Joule.

Figura 3 – Gravura do aparelho de Joule para medir o equivalente mecânico do calor



Fonte: Wikimedia Commons

O experimento, representado na Figura 3, consistia em um dispositivo central com paredes isolantes contendo água, de forma que, quando os pesos caíam, girava uma pá dentro de um recipiente com água. Devido ao atrito das pás com a água, o bloco caía com velocidade praticamente constante, ou seja, a energia cinética total era invariável. Sabendo a energia potencial utilizada para fazer girar as pás, era possível determinar então a quantidade de energia recebida pela água.

Esse esqueleto do experimento de Joule inspira o centro do produto educacional, já que pelos conceitos trabalhados envolverá a produção de uma máquina térmica capaz de gerar energia mecânica mediante a energia térmica.

Por definição, uma máquina térmica é um dispositivo que realiza trabalho mecânico ao transferir energia térmica entre dois reservatórios de temperaturas diferentes. Ela opera com base nos princípios da termodinâmica, convertendo parte da energia térmica em energia mecânica útil, enquanto o restante é dissipado para o ambiente ou para um outro reservatório frio. Apesar da máquina construída no produto não operar em ciclos termodinâmicos, ela ainda atende o pressuposto de uma máquina térmica, seguindo alguns princípios termodinâmicos, conforme descritos no próximo tópico.

Por fim, a discussão física acerca do conceito de calor, assim como experimentos como o de Joule, auxiliaram na criação de um conceito mais formal de calor. Em poucas palavras, na termodinâmica, calor é energia em trânsito, transferida entre um sistema termodinâmico e seu entorno por mecanismos diversos (condução, convecção, radiação), porém não por transferência de matéria.

Importante frisar sobre como esse conceito se dissocia de trabalho. Apesar de ambos serem processos, isto é, não são propriedades nem funções de estados, eles possuem uma diferença. O trabalho remete a transferência de energia associada a uma força atuando sobre um deslocamento, como a expansão contra um pistão. Isso implica que está ligado ao movimento organizado ou ordenado dos sistemas. Essa diferenciação é reforçada pela 1ª Lei da Termodinâmica, apresentada no tópico seguinte.

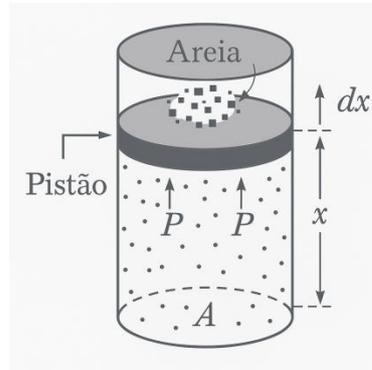
3.2 AS LEIS DA TERMODINÂMICA

Por fim, vale salientar a explícita relação entre a energia térmica e a energia mecânica, posteriormente descrita pela Primeira Lei da Termodinâmica, que relaciona o calor, a variação de energia interna (U) e o trabalho (W) pela Equação 6:

$$\Delta U = Q - W. \quad (6)$$

Suponha um gás em estado de equilíbrio térmico, confinado dentro de um compartimento cilíndrico com base de área A altura x , conforme representado na Figura 4.

Figura 4 – Expansão reversível



Fonte: Nussenzveig (2002, p. 178)

Esse gás exerce uma pressão p sobre as superfícies internas do recipiente. Para um processo de expansão reversível, a expressão da variação infinitesimal do trabalho realizado está representada na Equação 5.

$$dW = F dx \quad (7)$$

$$dW = (pA) dx = p(Adx). \quad (8)$$

Por fim:

$$dW = p dV, \quad (9)$$

sendo dV a variação de volume na forma infinitesimal, o que resulta em:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p dV. \quad (10)$$

Porém, além do desenvolvimento da Primeira Lei da Termodinâmica, o estudo sobre o calor levou as suas formas de propagação. Sabia-se que o calor fluía de maneira espontânea do corpo de maior temperatura para o de menor, e as formas como isso acontece eram divididas em três, condução, convecção e radiação:

A convecção ocorre tipicamente num fluido, e se caracteriza pelo fato de que o calor é transferido pelo movimento do próprio fluido, que constitui uma corrente de convecção [...] A radiação transfere calor de um ponto a outro através de radiação eletromagnética, que se propaga mesmo através do vácuo [...] A condução de calor só pode ocorrer através de um meio material, mas, ao contrário da convecção, sem que haja movimento do próprio meio. (Nussenzveig, 2002, p. 171)

A condução possui um tratamento matemático mais acessível ao estudante do ensino médio, em principal por abordar conceitos anteriores, como a quantidade de calor ΔQ transferida e a variação de temperatura ΔT . Com isso, para a condução de calor para uma espessura infinitesimal dx de um meio durante um tempo dt , é possível obter:

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{kAdT}{dx}. \quad (11)$$

Sendo k a constante de proporcionalidade, conhecida como a condutividade térmica do material, e A a área da seção transversal através da qual o calor está propagando. Essa expressão, formalmente descrita pela primeira vez por Joseph Fourier (1768-1830), mostra, também, que a taxa de variação de calor dependerá da natureza do material.

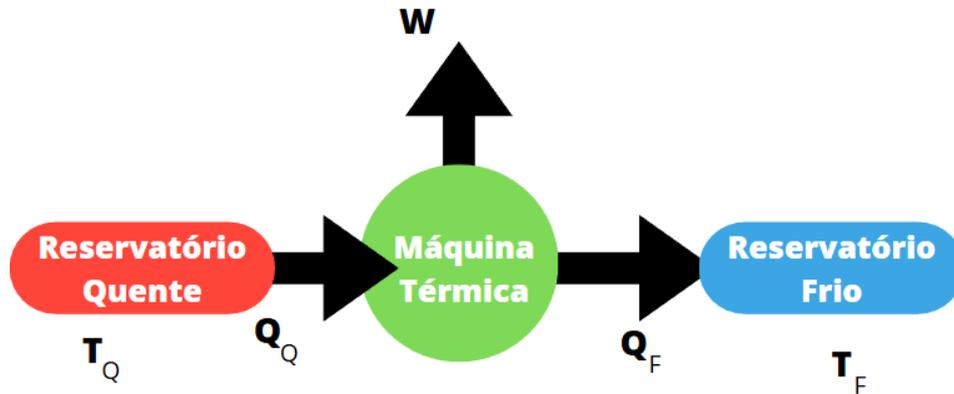
Em termos de fluxo de calor, sabe-se que há uma tendência natural dos sistemas físicos de possuírem eficiência limitada, o que impede a conversão completa de calor em trabalho. É por isso que, em uma máquina térmica, sempre há uma porção de calor que não pode ser convertida em trabalho e deve ser rejeitada para um reservatório de menor temperatura. Essa necessidade de rejeitar calor remete ao conceito de rendimento de uma máquina térmica, η , que representa a fração do calor total absorvido que pode ser efetivamente transformada em trabalho. Dessa forma, expressa por:

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_Q|} = \frac{|Q_Q| - |Q_F|}{|Q_Q|} \rightarrow \eta = 1 - \frac{|Q_F|}{|Q_Q|}. \quad (12)$$

Nessa configuração, Q_Q é a quantidade de calor que o reservatório quente fornece à substância de trabalho a uma temperatura constante T_Q , enquanto a substância de trabalho rejeita uma quantidade de calor Q_F a um reservatório frio a uma temperatura constante mais baixa, conhecida como T_F , conforme representa o esquema da Figura 5. Nesse caso, $Q_Q > 0$, já que é a quantidade de calor absorvida, enquanto $Q_F < 0$, já que é a quantidade de calor rejeitada.

Além disso, a expressão $|W| = |Q_Q| - |Q_F|$ vem da conservação de energia, uma vez que não é possível que $T_Q = T_F$ durante essa operação, pois isso violaria o fluxo natural de calor que ocorre do reservatório quente para o reservatório frio.

Figura 5 – Representação esquemática de uma máquina térmica



Fonte: Arquivo do autor (2023).

Essa esquematização funcionará quando consideramos que a máquina térmica realize trabalho de maneira contínua, de forma que a substância de trabalho deva operar em ciclos, ou seja, passando por uma série de processos termodinâmicos.

Segundo Tipler e Mosca (2012, p. 644), uma maneira de calcular o rendimento de uma máquina ideal operando no ciclo de Carnot é seguindo os processos adotados por Carnot:

- Uma expansão quase-estática e isotérmica, de estado 1 para 2, com fluxo de calor de um reservatório quente
- Uma expansão quase-estática e adiabática, de estado 2 para 3, para uma temperatura menor
- Uma compressão quase-estática e isotérmica, de estado 3 para 4, com fluxo de calor para um reservatório frio
- Uma compressão quase-estática e adiabática de volta ao estado original, de estado 4 para 1.

Seguindo esses processos, o calor Q_Q , ou Q_{Quente} , é o calor absorvido pela substância de trabalho durante a expansão isotérmica entre 1 e 2. Como em uma expansão isotérmica a variação da energia interna é zero, pela Primeira Lei da Termodinâmica:

$$Q_Q = W_{1 \rightarrow 2} \quad (13)$$

$$= \int_{V_1}^{V_2} P dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = nRT_q \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = nRT_q \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (14)$$

Sendo Q_F , ou Q_{Frio} , o calor cedido pela substância ao reservatório frio durante a compressão isotérmica, obtém-se:

$$|Q_F| = |W_{3 \rightarrow 4}| \quad (15)$$

$$= nRT_F \ln \frac{V_3}{V_4}, \quad (16)$$

obtendo a razão entre os valores obtidos na Eq. 14 e na Eq. 16:

$$\frac{|Q_F|}{Q_Q} = \frac{\left| T_F \ln \frac{V_3}{V_4} \right|}{T_Q \ln \frac{V_2}{V_1}}, \quad (17)$$

enquanto para a expansão do estado 2 para o estado 3, obtém-se:

$$T_Q V_2^{\gamma-1} = T_F V_3^{\gamma-1}, \quad (18)$$

por fim, para um processo de compressão adiabático, descrito no ciclo de Carnot, a expressão será dada por:

$$T_Q V_1^{\gamma-1} = T_F V_4^{\gamma-1} \quad (19)$$

dividindo a Eq. 18 pela Eq. 19:

$$\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1} \quad (20)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \quad (21)$$

com isso, para uma máquina de Carnot, a partir da Eq. 17:

$$\frac{|Q_F|}{Q_Q} = \frac{T_F}{T_Q} \rightarrow \eta = 1 - \frac{|Q_F|}{Q_Q} = 1 - \frac{T_F}{T_Q}. \quad (22)$$

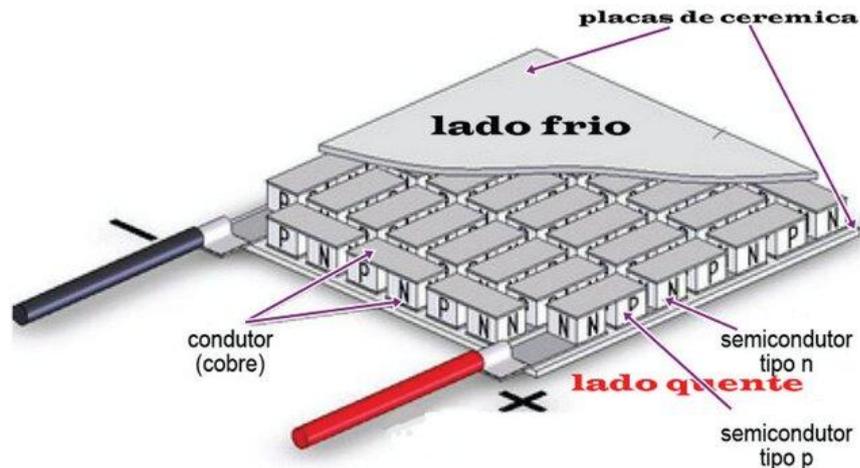
3.3 EFEITOS PELTIER E SEEBECK

A placa Peltier é um dispositivo termoelétrico que utiliza o efeito Peltier para criar uma diferença de temperatura. A ausência de um fluido refrigerante torna seu princípio de operação puramente elétrico e evita problemas de segurança relacionados a vazamentos potencialmente tóxicos ou de vazamentos que possam prejudicar a operação do aparelho. Para seu funcionamento, a placa é composta por pares de semicondutores, utilizados para criar a diferença de temperatura, especificamente do tipo n e p. Em um semicondutor do tipo n, a condução elétrica ocorre principalmente devido à presença de elétrons livres, que são cargas negativas. Esse tipo de material recebe esse nome justamente por conta dessa predominância

negativa. Já o semicondutor do tipo p recebe esse nome por permitir que a corrente seja transportada, majoritariamente, por lacunas (ou buracos), que funcionam como cargas positivas.

Esses semicondutores são conectados eletricamente em série e termicamente em paralelo, o que permite a transferência de calor quando uma corrente elétrica passa através da placa. Quando uma corrente elétrica passa pelos semicondutores, calor é absorvido em uma junção e liberado na outra, isso resulta em uma face quente e uma face fria na placa, o que caracteriza o efeito Peltier. A Figura 6 representa um esquema da região interna da placa Peltier, onde para o efeito Peltier a chapa isolante superior é onde se localiza o reservatório que deverá ficar quente, enquanto a chapa inferior é onde se localiza o reservatório que deverá ficar frio quando a placa é submetida a uma diferença de potencial.

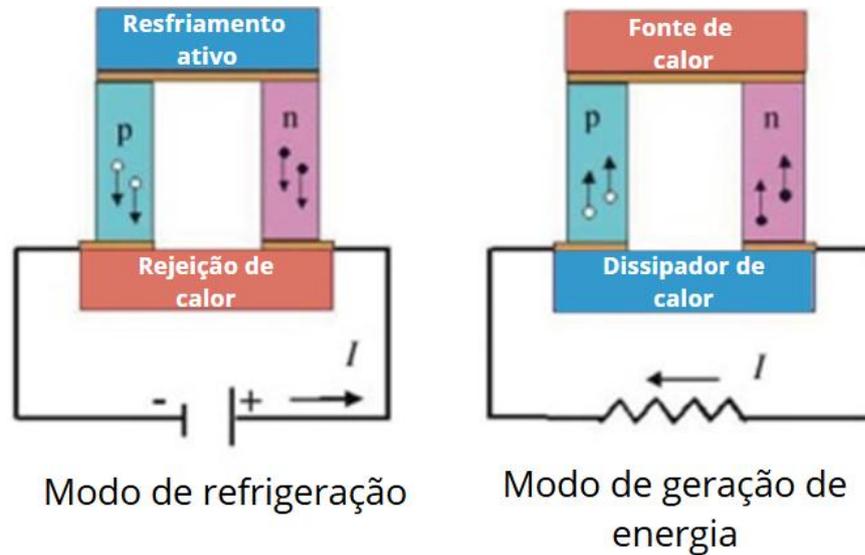
Figura 6 – Esquema de uma placa Peltier



Fonte: Moura e Almeida, 2014.

O efeito Seebeck é o fenômeno inverso ao efeito Peltier. Ele ocorre quando duas junções compostas por materiais condutores ou semicondutores diferentes são expostas a temperaturas distintas, gerando uma diferença de potencial elétrico (ou tensão elétrica) entre essas junções, conforme apresenta a Figura 7.

Figura 7 – Funcionamento da placa Peltier no efeito Peltier (esquerda) e no efeito Seebeck (direita)



Fonte: Adaptado de Tritt, 2002.

3.4 CÁLCULO DE PARÂMETROS DE EFICIÊNCIA

Para a análise do desempenho da máquina de Seebeck, é possível considerar parâmetros elétricos como corrente elétrica, tensão, potência elétrica e eficiência. Esses valores podem ser obtidos experimentalmente e tratados por meio de relações clássicas da eletrodinâmica. A potência elétrica, P , por exemplo, é determinada pela multiplicação da corrente I que o atravessa pela diferença de potencial V entre seus terminais. Essa relação, é expressa pela Equação 30:

$$P_{eletrica} = IV. \quad (30)$$

Enquanto idealmente, para o circuito, pode-se utilizar o coeficiente de Seebeck S para estimar a potência elétrica ideal a ser obtida, segundo Zhou *et al.* (2014), o coeficiente de Seebeck, em módulo, relaciona-se com a tensão e a variação de temperatura ΔT por:

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T}. \quad (31)$$

O modelo de placa termoeletrica TEC-12706, que será usado para a construção da máquina, segundo Kubov *et al.* (2016), possui, por exemplo, um coeficiente de Seebeck de 53 mV/K, segundo as informações fornecidas pelo *datasheet* do aparelho.

Por fim, a eficiência elétrica do sistema é definida como a razão entre a tensão elétrica efetivamente gerada e a ideal fornecida ao sistema, conforme apresentado na Eq. 32:

$$\eta_{sistema} = \frac{V_{real}}{\Delta V}. \quad (32)$$

A eficiência, nesse contexto, permite avaliar a capacidade de conversão de energia térmica em energia elétrica do dispositivo construído. Apesar do dispositivo não operar num ciclo termodinâmico, para efeito de análise comparativa, também é possível considerar a eficiência térmica máxima estabelecida pelo limite de Carnot, já discutido anteriormente no texto, e pré-estabelecida pela Eq. 22.

4 METODOLOGIA

Este capítulo descreve de forma detalhada os procedimentos metodológicos adotados na construção e aplicação do produto educacional. Inicialmente, é apresentado o aparato experimental utilizado, com foco na utilização da placa Peltier e demais componentes, explicando as escolhas técnicas e os materiais empregados, bem como sua montagem e caracterização. Em seguida, aborda-se o local de aplicação do produto, o perfil dos estudantes envolvidos, e as condições em que a intervenção pedagógica foi realizada. Por fim, apresenta-se a estrutura de execução da sequência de ensino investigativo (SEI), com a descrição das etapas de desenvolvimento, datas de aplicação e observações pertinentes. Essa organização visa oferecer uma compreensão clara e sistemática das etapas da sequência didática.

4.1 APARATO EXPERIMENTAL

A utilização da placa Peltier deve-se ao seu baixo custo em comparação com outros materiais. Em 2025, é possível encontrar placas Peltier do modelo TEC-12706 por menos de R\$ 30,00, enquanto dissipadores de calor com cooler e kits completos de refrigeradores termoelétricos custam, respectivamente, R\$ 60,00 reais e R\$ 125,00 em média. Em segundo, temos a facilidade de uso, pois a placa já vem com a fiação quase pronta para ser fixada em determinada região, evitando o uso de solda.

Evidentemente, o foco será no princípio térmico da placa, omitindo-se a explicação quanto a semicondutores e afins. Porém, esse conteúdo pode ser objeto de conhecimento para outras aplicações ou até mesmo para um resgate de conhecimentos prévios por parte do professor em momentos futuros. Sendo assim, o uso do efeito Seebeck, nesse caso, é para demonstrar a geração de energia elétrica através de uma diferença de temperatura. Para isso, os parâmetros da Pastilha TEC-12706 e motor vibracall utilizados foram:

Pastilha Peltier TEC 12706

- a. $V_{\text{máx}} = 16 \text{ V}$
- b. $I_{\text{máx}} = 6,1 \text{ mA}$
- c. $\Delta T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$
- d. $S = 53 \text{ mV}$

2. Motor Vibracall

- a. $V_{\text{mín}} = 1,5 \text{ V}$
- b. $I_{\text{mín}} = 20 \text{ mA}$

- c. $V_{\text{máx}} = 3 \text{ V}$
 - d. $I_{\text{máx}} = 50 \text{ mA}$
3. Dois reservatórios que favoreçam a troca de calor
 4. Água quente e gelada

O motor vibracall, ilustrado na figura 8, foi utilizado para demonstrar de maneira prática e visível a conversão de energia térmica em energia mecânica. No experimento, a placa Peltier TEC 12706 será exposta a uma diferença de temperatura, gerando uma diferença de potencial por meio do efeito Seebeck. Vale ressaltar que existem diversos modelos de placas Peltier no mercado, mas o modelo TEC 12706, além de ser amplamente utilizado, apresenta um custo mais acessível em comparação com outras opções. Assim, a utilização de modelos alternativos, como placas de equipamentos obsoletos ou sucateados, é viável, desde que sejam adequadamente dimensionadas para o contexto do experimento.

A escolha do motor vibracall de celular, por sua vez, possui diversas motivações, sendo a principal delas a adequação ao conteúdo programático já visto anteriormente, uma vez que o motor é capaz de converter a energia elétrica em mecânica, sendo esta última abordada na 1ª série do ensino médio. Outro motivo reside na sua facilidade de obtenção, especialmente em aparelhos celulares de sucata, e pelo seu custo reduzido. Além disso, a principal vantagem é que sua tensão mínima é inferior à de motores utilizados em robótica, facilitando o êxito na experimentação, já que a diferença de temperatura gerada, com base na obtenção de água a alta temperatura e conservação da água congelada, não é ideal para acionar motores mais potentes.

Figura 8 – Motor vibracall utilizado no aparato experimental



Fonte: Usinainfo, 2025.

O motor vibracall vibra a cabeça porque contém um pequeno motor com um peso excêntrico (desbalanceado) acoplado ao eixo. Quando o motor gira, esse peso excêntrico cria uma força centrífuga que varia de direção rapidamente, produzindo uma vibração. Fisicamente, isso ocorre porque o centro de massa do sistema não coincide com o eixo de rotação, gerando oscilações mecânicas periódicas que se transmite à estrutura onde o motor está fixado — no caso, a "cabeça" do dispositivo ou estrutura em questão. Esse movimento será produzido a partir da energia térmica inicial. Em resumo, os materiais a serem utilizados estão presentes na Figura 9.

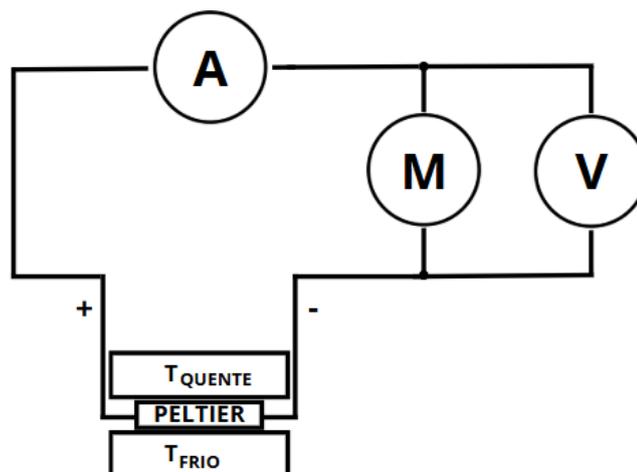
Figura 9 – Principais materiais utilizados no aparato experimental



Fonte: Arquivo do autor (2023).

Como visto, é possível traçar um paralelo com o experimento clássico de Joule, onde há conversão de energia mecânica em calor ao usar um peso em queda para aquecer a água, comprovando que o movimento poderia ser convertido em energia térmica. Neste caso, seria inverso: a diferença de temperatura gera energia elétrica, que, ao alimentar o motor, resulta em energia mecânica na forma de rotação. Ademais, a Figura 10 representa, de maneira esquemática, o circuito utilizado para o efeito Seebeck.

Figura 10 – Circuito com placa Peltier



Fonte: Arquivo do autor (2023).

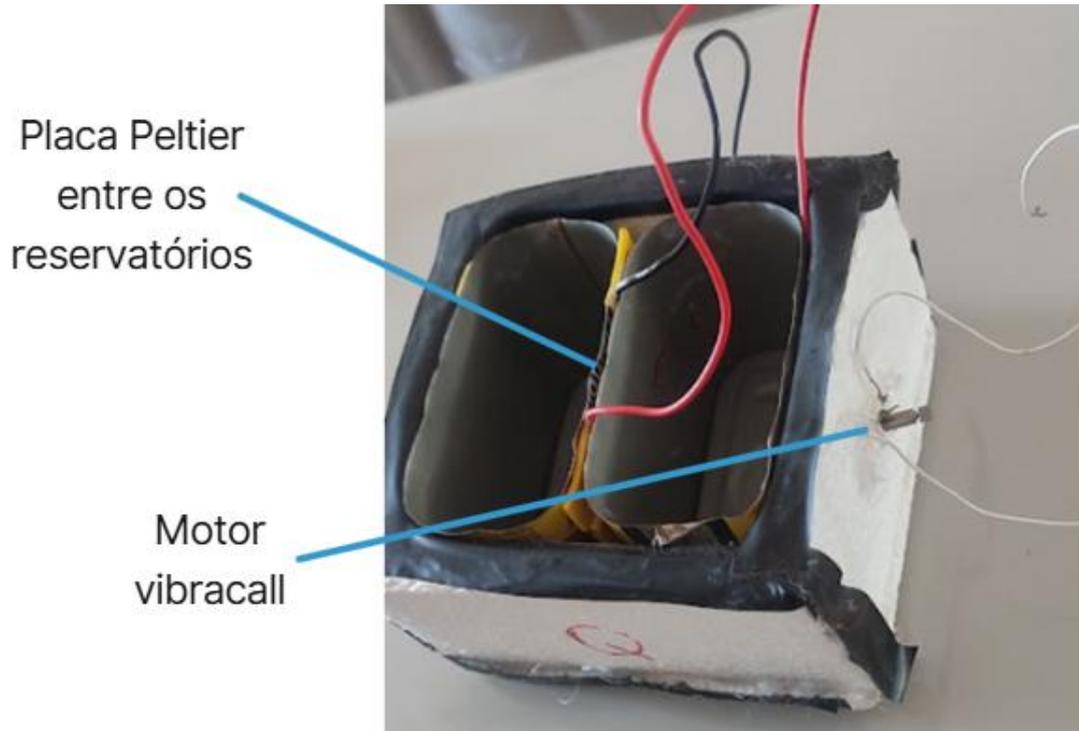
Os modelos de placas termoelétrica comercializadas, incluindo a Peltier, possuem em um de seus lados uma marcação com o nome do modelo. No caso da TEC1 – 12706, por exemplo, apenas um dos lados possuirá essa marcação. Isso permite orientar corretamente a placa quanto ao lado quente e ao lado frio:

- Lado Frio: É o lado que normalmente possui a marcação com o nome do modelo. Esse lado deve ficar em contato com o reservatório de água gelada.
- Lado Quente: É o lado oposto, que deve ficar em contato com o reservatório de água quente.

Todavia, o circuito a ser elaborado pelos estudantes conta com uma simplificação, sem o amperímetro e o voltímetro, já que a intenção não é introduzir por completo conceitos como corrente elétrica e tensão, além do manuseio de equipamentos eletrônicos mais complexos. Em principal, por não fazer parte do conteúdo programático e para não sobrecarregar o produto educacional dentro de suas limitações de aulas, conteúdo e estrutura.

Ainda assim, por esse circuito, caracterizou-se a experimentação antes de implementá-la na aplicação do produto, utilizando dois materiais diferentes como recipiente, já que os estudantes possuem a liberdade de escolher os materiais. Um dos aparatos utiliza latas retangulares, enquanto o outro utiliza caixa de leite, de material tetrapak. Em ambos a pastilha pôde ter toda sua superfície em contato com o reservatório. A Figura 11 mostra a estrutura do aparato caseiro, com latas retangulares, a Peltier inserida entre os reservatórios e a fiação até o motor, sendo a montagem feita pelo autor.

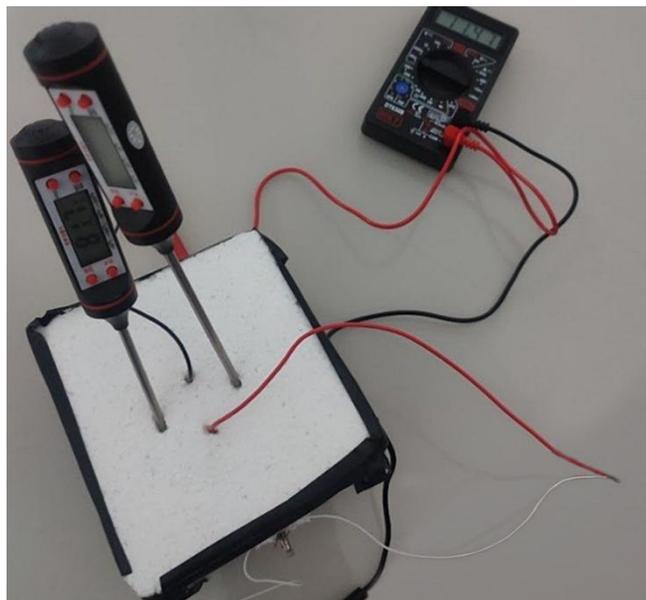
Figura 11 – Distribuição dos reservatórios de latas e da placa Peltier no aparato experimental



Fonte: Arquivo do autor (2023)

Ademais, utilizou-se um recipiente improvisado de isopor para uso como isolante térmico. Com efeito, a ideia da experimentação é aproveitar materiais com que os estudantes possam encontrar com facilidade, o que justifica o uso de placas de isopor para uma montagem caseira na caracterização. A Figura 12 representa uma foto da caracterização, com o dispositivo já fechado e isolado, apenas com os fios para fora do isopor para reduzir trocas de calor com o ambiente.

Figura 12 – Caracterização do aparato experimental, utilizando reservatórios de tetrapak.



Fonte: Arquivo do autor (2023).

A Tabela 1 demonstra o resultado dessa caracterização, que mediu a temperatura dos reservatórios quente e frio, assim como a corrente e a tensão em função do tempo. Vale salientar que para ambos os reservatórios (com reservatório feito de lata e reservatório feita com tetrapak) houve caracterização, a fim de entender o potencial de aplicação em sala de aula sobre circunstâncias atípicas a um laboratório padrão, como um isolante caseiro e reservatórios com materiais improvisados. Nesse caso, os resultados foram análogos.

A corrente e a tensão presentes na Tabela 1 foram obtidas simultaneamente com o uso de dois multímetros, posicionados conforme apresentado anteriormente na Figura 9, enquanto a temperatura foi medida através de dois termômetros culinários, posicionados estrategicamente para cada reservatório. Para os demais parâmetros, seguiu-se os cálculos presentes no tópico 3.4. Vale salientar que, para a eficiência elétrica, considerou-se a divisão entre os valores de tensão obtidos experimentalmente e a tensão ideal, conforme a Eq. 32. Enquanto a tensão ideal, baseado no coeficiente de Seebeck, se baseia no uso da Eq. 31.

Tabela 1 – Caracterização da Máquina de Seebeck para reservatório com latas retangulares, com ênfase em parâmetros elétricos

Tempo (s)	Temperatura (°C)		Corrente (mA)	Tensão (V)	Potência Elétrica (mW)	Tensão Ideal (V)	Eficiência Elétrica (%)
	T (Quente)	T (Frio)					
0	86,4	3,1	11,6	0,47	5,5	4,4	10,65
30	86,0	3,1	11,4	0,47	5,4	4,4	10,70
60	85,1	3,1	11,3	0,46	5,2	4,3	10,58
90	84,6	3,2	11,2	0,45	5,0	4,3	10,66
120	84,0	3,1	11,0	0,45	5,0	4,3	10,50
150	83,1	3,1	10,8	0,43	4,9	4,2	10,61
180	82,5	3,2	10,2	0,38	3,9	4,2	9,04
210	81,6	3,1	9,8	0,35	3,4	4,2	8,41
240	80,7	3,2	9,7	0,29	2,8	4,1	7,06
270	80,0	3,2	9,0	0,26	2,3	4,1	6,39
300	79,1	3,3	8,6	0,25	2,2	4,0	6,22
330	78,5	3,3	8,2	0,25	2,1	4,0	6,27

Fonte: Arquivo do autor (2025).

Demora alguns poucos segundos para que o motor inicie seu movimento, e, para a tabela, o tempo de zero segundos já é o tempo em que o motor inicia seu movimento. Os destaques para os 180 segundos e 240 segundos ocorrem devido ao fato de, em 180 segundos, o motor ter ficado visivelmente mais lento, enquanto em 240 segundos, ele parou por completo. Isso fornece uma estimativa do tempo esperado para o motor em funcionamento dos estudantes, assim como a variação de temperatura necessária. Para essa caracterização, a

temperatura ambiente era de 25 °C. Ademais, a diferença entre a tensão ideal e a tensão se deve a alguns fatores, como as possíveis perdas de calor para o ambiente externo, mau contato térmico, etc. Há ainda o fato de a tensão ideal ser obtida em circuito aberto, enquanto para a tensão obtida experimentalmente houve a presença de uma carga, o motor elétrico. Com isso, a Tabela 2 apresenta os dados de eficiência com ênfase em parâmetros térmicos.

Tabela 2 – Caracterização da Máquina de Seebeck para reservatório com latas retangulares, com ênfase em parâmetros térmicos

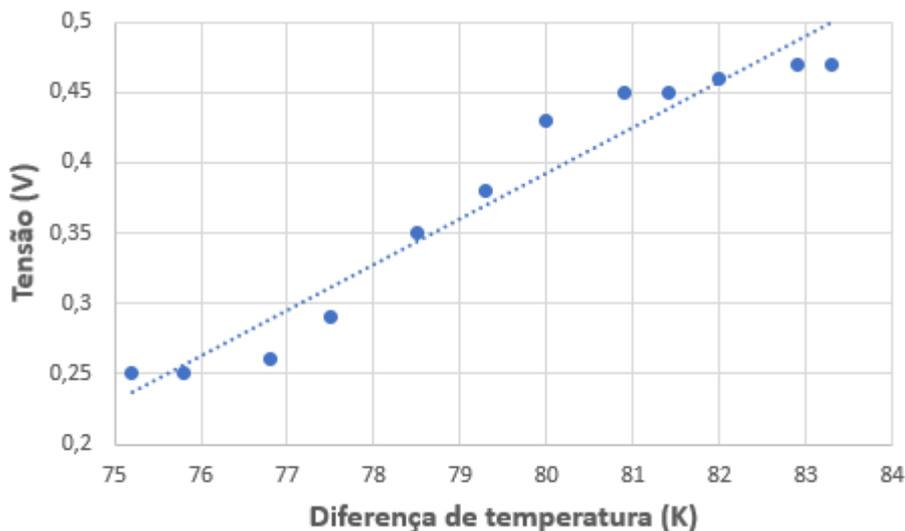
Tempo (s)	Temperatura (°C)		Potência Elétrica (mW)	Potência Térmica (mW)	Eficiência (%)	Eficiência Carnot
	T (Quente)	T (Frio)				
0	86,4	3,1	5,5	-	-	23,2
30	86,0	3,1	5,4	5,6	0,096	23,1
60	85,1	3,1	5,2	12,6	0,083	22,9
90	84,6	3,2	5,0	7,0	0,222	22,8
120	84,0	3,1	5,0	8,4	0,237	22,7
150	83,1	3,1	4,9	12,6	0,194	22,5
180	82,5	3,2	3,9	8,4	0,278	22,3
210	81,6	3,1	3,4	12,6	0,191	22,1
240	80,7	3,2	2,8	12,6	0,179	21,9
270	80,0	3,2	2,3	9,8	0,216	21,8
300	79,1	3,3	2,2	12,6	0,171	21,5
330	78,5	3,3	2,1	8,4	0,269	21,4

Fonte: Arquivo do autor (2023).

Nesse caso, para a potência térmica, considerou-se 100 gramas de água em cada reservatório, utilizando a equação fundamental da calorimetria (Eq. 2), é possível estimar a quantidade de calor que a fonte quente fornece a fonte fria. Esse cálculo estima a perda de calor do reservatório quente e, para esse caso, considerando que todo o calor seja transferido para o reservatório frio através da placa Peltier. Além disso, sendo a potência inversamente proporcional ao tempo, considera-se o tempo de medição presente na primeira coluna da tabela, de 30 em 30 segundos.

O Gráfico 1 apresenta a tensão elétrica, em V, em função da diferença de temperatura, em kelvin, obtido na caracterização, junto a um ajuste linear baseado nos valores obtidos. O gráfico mostra que, à medida que a diferença de temperatura aumenta, a tensão elétrica também aumenta proporcionalmente, com a dispersão dos pontos em torno da linha de tendência confirmando essa correlação positiva e consistente. O ajuste ocorre devido a dependência linear apresentada na Eq. 31. Apesar dessa dependência, é possível observar que alguns pontos divergem do comportamento esperado, se afastando da reta. Entre as possíveis causas estão as perdas de calor e o mau contato térmico mencionado anteriormente.

Gráfico 1 – Tensão em função da diferença de temperatura para caracterização do aparato experimental



Fonte: Arquivo do autor (2025).

Evidentemente que, ao analisar as eficiências nas Tabelas 1 e 2, alguns erros fazem com que a eficiência seja drasticamente reduzida, entre eles o fato de que nem toda energia térmica fornecida pela fonte quente é aproveitada para energia elétrica, já que parte dela servirá para aquecer o ar no interior do isolamento, além dos outros componentes não

considerados, como a própria lata que compõe o reservatório de água e a placa Peltier. Além disso, como a placa não preenche toda a seção retangular da lata, apenas parte desse calor será aproveitado pela Peltier.

Por fim, na coluna “Eficiência”, utiliza-se a divisão entre a potência elétrica e a potência térmica, multiplicando por 100 para encontrar o valor em porcentagem. Enquanto na última coluna há a eficiência de Carnot, conforme o embasamento teórico físico, utilizando a Eq. 22.

4.2 UNIVERSO, SUJEITOS E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional foi aplicado em um colégio da rede privada de ensino, com uma turma da segunda série do ensino médio. A escolha desse grupo se deu pelo fato de que os conteúdos de Termologia e Termodinâmica fazem parte do programa curricular dessa série, o que permitiu a implementação da atividade dentro do ano letivo de forma alinhada ao planejamento pedagógico, sem prejuízo ou desvios em relação ao conteúdo previsto. Ao longo da análise e registros presentes na aplicação do produto educacional, os estudantes serão identificados por numeração, como Estudante 1, 2, 3 etc., assim será possível analisar respostas de maneira individual e coletiva e ainda preservar a identidade dos estudantes.

O grupo, formado por 18 estudantes ao todo, incluindo dois autistas, realizou um questionário para identificação de conhecimentos prévios, presentes no Apêndice B. Destes, 17 estavam presentes na aplicação do questionário prévio. O Estudante 18 não está presente na discussão do questionário prévio por ter se ausentado na sua aplicação, porém estava presente durante a aula ministrada no dia 03/05/2024 e nas posteriores, e por isso haverá menções suas em momentos posteriores, enquanto no questionário não.

Além disso, os estudantes foram levados ao laboratório da escola para realizar a confecção do aparato experimental, enquanto a discussão foi estabelecida dentro da sala de aula. O laboratório não conta com equipamentos para experimentação de física, apenas de química e biologia, ainda sim se torna um ambiente mais propício para elaboração do experimento, já que contém bancadas para trabalho em grupo, além de motivar os estudantes a saírem do ambiente tradicional de sala de aula.

Vale salientar que a escola atende um dos pilares da gestão escolar democrática, inserindo os estudantes na tomada de decisões quanto a algumas atividades escolares. Além da representação estudantil em reuniões, os estudantes possuem poder de voto, recolhido

através dos formulários Google. Portanto, o questionário foi elaborado com essa ferramenta, pois enquadrava-se no cotidiano dos estudantes.

A aplicação do produto baseou-se na SEI no Quadro 4, adaptada da SEI presente no Apêndice A. É importante ressaltar que outras atividades estão previstas no calendário escolar, como a promoção de eventos culturais, jogos internos e olimpíadas. Assim, as escolhas das datas foram planejadas de maneira a garantir uma boa disponibilidade de aulas, evitando conflitos com outras atividades escolares. Além disso, a adequação ao conteúdo programático é fundamental, pois os estudantes realizam simulados externos alinhados aos temas do material didático. O período de aplicação foi cuidadosamente dimensionado para assegurar que os alunos não fossem prejudicados nesse aspecto. Na tabela, cada aula possui duração de 50 minutos.

Quadro 4 – SEI adaptada para o Produto Educacional no 1º semestre de 2024

Encontro	Data	Aulas	Conteúdo	Atividade	Observações
1	26/04/2024	1		Aplicação do Questionário Prévio	
2	03/05/2024	2	Introdução teórica a propagação de calor	Discussão acerca das questões propostas no questionário prévio	Retomar conceitos como temperatura e calor, buscando conhecimentos prévios dos estudantes. Solicitar aos estudantes os materiais para confecção da máquina térmica.
3	10/05/2024	1	Propagação de calor e introdução a Termodinâmica	Início da elaboração da máquina térmica	Verificar se os materiais trazidos pelos estudantes tornam fisicamente viável a construção da máquina.
X	17/05/2024	X		Aplicação da OBA – Olimpíada Brasileira de Astronomia	Sem atividades de aplicação do produto educacional, uma vez que a duração da Olimpíada é de até 4 horas, ocupando o quadro de aulas da manhã no Colégio.

4	24/05/2024	2	Propagação de calor e introdução a Termodinâmica	Confecção da máquina térmica	Checar possíveis erros na construção que podem levar os estudantes a não obterem êxito. Realizar teste de funcionamento da máquina térmica.
X	31/05/2024			Ponto Facultativo – Feriado Corpus Christi	Apesar de haver aula normal, conforme o calendário escolar, seguiu-se a recomendação da coordenação para continuar a atividade em uma semana posterior, devido ao histórico de evasão dos estudantes em feriados próximos ao final de semana.
5	07/06/2024	2	Propagação de calor e introdução a Termodinâmica	Finalização e questionário final	Retomar discussão sobre a propagação de calor. Discussão dos erros, possíveis perdas de energia e como otimizar. Provocar a discussão quanto a geração em larga escala.

Fonte: Arquivo do autor (2024)

Para fins de organização, o próximo capítulo contemplará uma análise estabelecida por aulas, assim como a discussão acerca dos resultados dos estudantes quanto ao questionário prévio e o questionário final.

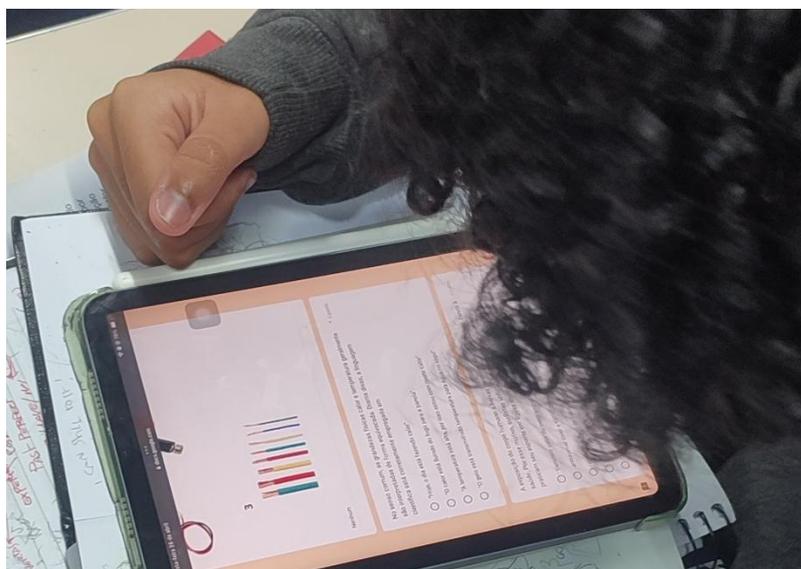
5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL E RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo apresenta a aplicação prática do produto educacional desenvolvido, descrevendo o contexto da intervenção pedagógica, os sujeitos envolvidos, os procedimentos adotados e os recursos utilizados. Em seguida, são analisados os resultados obtidos a partir das atividades realizadas com os estudantes, com base em registros, avaliações e observações. A análise contempla tanto aspectos conceituais quanto operacionais, permitindo verificar a efetividade do produto na construção dos conhecimentos físicos relacionados à temática abordada.

5.1 ENCONTRO 1: APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO PRÉVIO

A Figura 13 demonstra como a interface do questionário prévio é apresentada para os estudantes, através de uma foto tirada no momento da aplicação do questionário prévio com um dos estudantes.

Figura 13 – Aplicação do questionário prévio



Fonte: Arquivo do autor (2024).

O conteúdo do questionário prévio foi elaborado com o objetivo de explorar conceitos fundamentais, como energia, calor, e temas relacionados à geração de energia. Assim, o questionário abordou esses conceitos, questionando os estudantes sobre seus conhecimentos

prévios, especialmente em relação à propagação de calor. As perguntas foram formuladas para avaliar as habilidades mencionadas no tópico 2.3, investigando o entendimento dos alunos sobre o conceito de energia, sua percepção do calor e seu conhecimento sobre o funcionamento de uma usina de geração de energia em larga escala, com foco no uso da energia solar. Para esse caso, o foco em uso de energia solar advém do fato das usinas com base em energia solar serem bastante difundidas na atualidade, além de utilizarem um mecanismo térmico para geração de energia. Esse caminho fornece um pontapé inicial para o debate sobre a geração de energia em larga e escala e a possibilidade do uso do aparato desenvolvido para geração de energia.

Além disso, o questionário entendeu o grau de familiaridade dos estudantes com materiais elétricos, com base em experiências cotidianas. Parte das questões foi estruturada de forma aberta, pois, conforme proposto por Mourão e Sales (2018) e ilustrado na Figura 1, as questões abertas são ferramentas do Ensino Investigativo que promovem o debate, o qual foi realizado na aula de 03/05/2024. Já as questões fechadas têm o intuito de complementar as abertas, buscando compreender o raciocínio dos estudantes sobre a propagação do calor.

5.2 RESPOSTAS E DISCUSSÃO DO QUESTIONÁRIO PRÉVIO

A primeira pergunta do questionário busca confrontar os estudantes quanto ao conceito de energia. Em primeiro, esperava-se uma resposta associada a energia mecânica, uma vez que faz parte do componente curricular da primeira série do ensino médio e foi abordada um ano antes na disciplina de Física. Porém, espera-se algumas associações com a ideia de calor também, já que foi um conceito abordado algumas aulas antes da aplicação do produto. A Figura 14 agrupa as palavras utilizadas pelos estudantes para as respostas, cujo tamanho é proporcional a quantidade de vezes que a palavra se repete. Nesse caso, foi removido as preposições e artigos, assim como as palavras repetidas por um mesmo estudante.

Figura 14 – Nuvem de palavras formadas pela questão 1: O que você entende como sendo 'energia'?



Fonte: Arquivo do autor (2024)

A própria palavra energia aparece 7 vezes, seguida de capacidade, que aparece 4 vezes, além de moléculas e calor, que aparecem 3 vezes. As demais, aparecem apenas 1 ou 2 vezes. Observa-se uma tendência dos estudantes de direcionarem a energia a capacidade de algo e a de associar a conceitos estudados na calorimetria, uma vez que se definiu calor como energia em trânsito em momentos anteriores a aplicação do produto. Porém, é um conceito ainda em formação, e isso é possível de observar pelas respostas dos estudantes, presente no quadro 5.

Quadro 5 – Respostas quanto a questão 1 do questionário prévio

Pergunta: O que você entende como sendo 'energia'?	
Estudante	Resposta
1	Agitação de moléculas?
2	Não sei
3	O potencial do átomo de realizar alguma reação, como vibrar ou soltar elétrons
4	Agitação de moléculas em um corpo
5	Energia é a coisa que faz as moléculas se agitarem
6	Um tipo de capacidade do indivíduo
7	A energia é a capacidade do sistema para realizar trabalho.

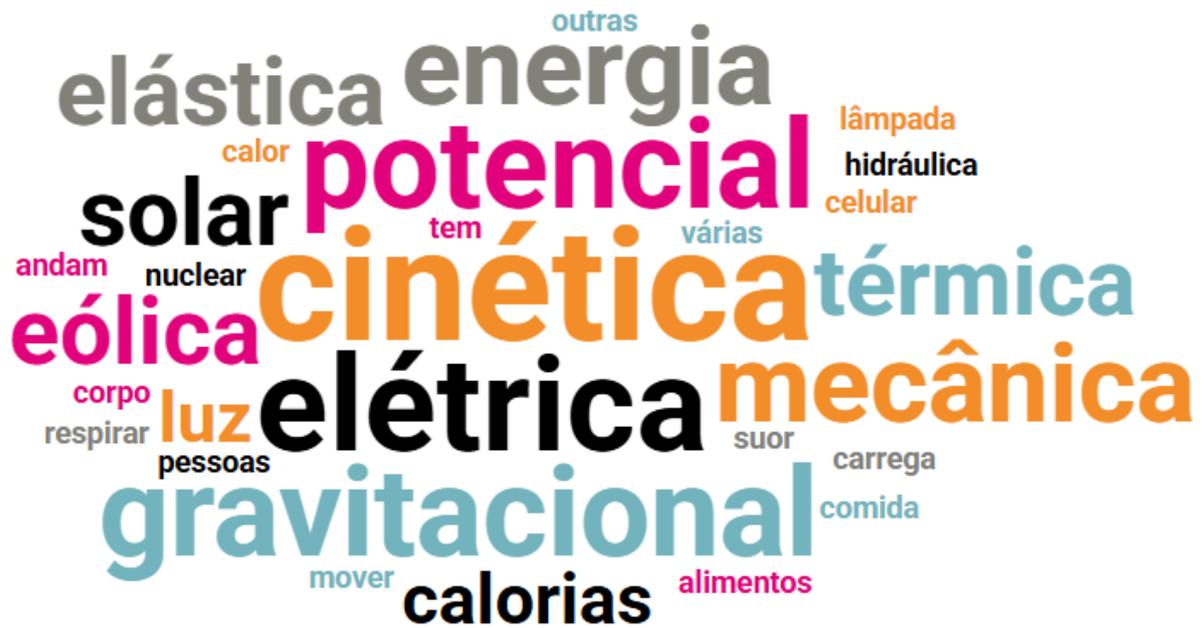
8	Uma forma de calor armazenada
9	É a capacidade de produção de um movimento medido em joules
10	Energia é a capacidade de fazer movimento
11	A transformação de energia
12	Transferência de calor para um corpo a outro
13	Não sei
14	A energia está relacionada ao calor e movimento de um indivíduo ou objeto.
15	É um substantivo abstrato que origina tudo (e originou o universo), pode ser de vários tipos, com várias finalidades
16	É a capacidade de um corpo que produz calor
17	Tem vários tipos de energia, potência, sintética e mecânica.

Fonte: Arquivo do autor (2024).

Os estudantes 1 e 4, por exemplo, associaram o conceito de energia ao de temperatura ou da própria energia térmica em si. No geral, os estudantes possuem dificuldade de desassociar a ideia de calor e temperatura, e uma consequência é que, ao aprenderem o calor como energia térmica em trânsito, também se associa o conceito de energia com o de temperatura diretamente, sem notar suas diferenças. Essa característica foi identificada por Carvalho et. al (2014, p. 15), ao relatar a complexa construção do conceito de calor ao longo dos anos. Inclusive, dois estudantes, acusaram não saber o que seria energia.

Já a Figura 15 mostra o resultado da busca a entender como o estudante enxerga a energia em seu cotidiano, já que a energia elétrica, por exemplo, é predominante na sociedade moderna.

Figura 15 – Nuvem de palavras formadas pela questão 2: Quais formas de energia você observa no cotidiano?



Fonte: Arquivo do autor (2024)

Apesar da primeira pergunta sugerir uma abordagem mais alinhada com a perspectiva de Lavoisier, observa-se uma predominância de uma visão mais voltada a dinâmica na resposta à segunda questão. Em um nível mais formal, na tentativa de caracterizar e classificar a energia, o estudante demonstra dificuldade em abordá-la sob uma ótica que não seja a dinâmica, conforme visto na Figura 15, em que a maioria destacou as energias vistas no ensino da dinâmica.

No quadro 6, por sua vez, os estudantes mencionam formas de obter energia, mas, mais uma vez, falta uma abordagem mais científica e aprofundada. Por exemplo, os estudantes 1, 4, 7 e 10 mencionam a comida sem identificar que se trata de energia química, conceito sequer abordado na questão 2. Esse fato reforça a necessidade de formalizar novos conceitos relacionados à energia, adotando uma visão mais científica que inclua, além da mecânica, outros aspectos como o calor e a energia térmica, conforme destacado por Moran (2015). Essa habilidade a ser desenvolvida está diretamente relacionada à alfabetização científica, conforme defendido por Lorenzetti (2021), pois a formalização desses conceitos visa capacitar o estudante a perceber fenômenos sob uma perspectiva mais ampla e a utilizar esse conhecimento de forma autônoma, tanto para seu próprio benefício quanto para o bem da sociedade.

Quadro 6 – Respostas quanto a questão 3 do questionário prévio

Pergunta: Quais as formas de se obter energia você conhece?	
Estudante	Resposta
1	Comendo
2	eólica, hidráulica, solar, nuclear
3	Qualquer ação necessita de energia para ser realizada, e enquanto um perde, o outro ganha
4	Comendo, ligando fio no outro, correndo.
5	pelo calor, eletricidade, atividade física
6	Pelo vento, pelas águas, sol...
7	Comida, movimentos, e circuitos
8	Sol, vento, as águas, os mares...
9	A energia é gerada apartir (sic) de um movimento ou da capacidade de movimento
10	Comendo comida, através da transformação de energias, como da mecânica em cinético(carro)
11	transferência de energia de um corpo para outro, carregando uma bateria e etc.
12	Ao tirar um corpo de repouso
13	gravitacional, térmica, cinética, hidráulica
14	aquecendo e agitando (principalmente se for liquido)
15	Através de placas solares, do vento, da água
16	Vento, sol das águas...
17	Energia solar, eólica (sic)...

Fonte: Arquivo do autor (2024).

Essa necessidade torna-se mais evidente no quadro 7, que apresenta as respostas para a questão 4, onde 7 estudantes acusaram, explicitamente, de não saberem como a obtenção de energia associa-se com conceitos como calor, eletricidade e energia mecânica. Papert (2008) traz a concepção de que essa dificuldade está atrelada a abstração desses fenômenos, já que em seu cotidiano o estudante observa o resultado da conservação de energia, e não o processo de realização em si. Vale salientar que foi explicado aos estudantes que eles poderiam estabelecer um paralelo entre dois dos três conceitos da pergunta e/ou os três

simultaneamente, de forma que o esperado era que o estudante pudesse mencionar justamente quais princípios físicos presentes nas formas de obtenção de energia, presentes na questão anterior, a questão 3: “Quais as formas de se obter energia você conhece?”, dando continuidade à sua linha de raciocínio no formulário.

Quadro 7 – Respostas quanto a questão 4 do questionário prévio

Pergunta: Como isso se relaciona com conceitos como calor, eletricidade e energia mecânica?	
Estudante	Resposta
1	.
2	Não lembro mais
3	na transferência da energia de um corpo a outro
4	O calor em um certo ponto se transforma em energia cinética
5	sei lá, tem haver
6	Não sei
7	estão interligados porque o calor é a AGITAÇÃO das moléculas, a eletricidade é o grande fluxo de elétrons (acho que a agitação deles também, que por algum motivo dá choque) e energia mecânica porque está associado ao trabalho e conseqüentemente ao movimento também (sic)
8	não sei
9	quanto maior, mais calor é
10	Não sei explicar
11	Pois esses elementos acima podem produzir a energia (sic)
12	A gente perde energia para o ambiente a partir do momento em que perdemos temperatura para o ambiente
13	Quando uma pessoa corre e perde energia
14	O calor é uma forma da energia se dissipar, a eletricidade é uma forma de energia e a mecânica é uma forma de transformação de energia (sic)
15	Todos são um tipo de movimento realizado pelas partículas (sic)
16	Eu acho que a energia ajuda na transferência ou qualquer movimento que seja necessário
17	.

Fonte: Arquivo do autor (2024).

Como a resposta era obrigatória, ou seja, era necessário que o estudante digitasse algo, alguns estudantes registraram um ponto ou um travessão para conseguir pular para próxima questão. Para a questão 5, “De que forma o calor se propaga entre os corpos?”, no que diz respeito à forma como o calor se propaga entre os corpos, apenas cinco estudantes mencionaram as palavras "condução", "convecção" e/ou "irradiação". Outros cinco estudantes mencionaram a relação entre a diferença de temperatura necessária entre os corpos para que ocorra o fluxo de calor. No entanto, é importante observar que o conceito ainda carece de estruturação sob uma perspectiva científica, devido à presença predominante de respostas vagas, como:

- Estudante 2: O calor se propaga através da temperatura;
- Estudante 4: na transferência de calor e energia de um a outro;
- Estudante 11: Ele vai de um "mais quente" para o outro tentando deixar equilibrado;
- Estudante 15: Através da agitação molecular.

Essas respostas refletem a crítica ao modelo instrucionista, conforme Papert (1993), pois o estudante, ao buscar uma resposta com base nos conceitos previamente ministrados de calorimetria, não demonstra um direcionamento coerente. O estudante 11, por exemplo, provavelmente associou a propagação de calor à necessidade de equilíbrio térmico, mas não consegue estabelecer uma linha de raciocínio que envolva os dois corpos. Da mesma forma, o estudante 15 parece entender que o calor está relacionado à agitação molecular por meio da temperatura, mas seu conceito de "grau de agitação molecular" ainda não está bem definido.

A questão 6, “O que você entende como sendo uma máquina térmica?”, visa mapear os conhecimentos dos estudantes sobre máquinas térmicas. Assim como na questão 5, as questões serão categorizadas diferentes, devido a quantidade de respostas semelhantes (mesmo os estudantes respondendo individualmente). Assim, é possível dar ênfase a respostas específicas e ao padrão de resposta encontrada. Assim, as respostas foram categorizadas da seguinte forma:

- Três estudantes afirmaram não saber;
- Três estudantes mencionaram que seria uma máquina de medição de temperatura, provavelmente associando a um termômetro;
- Três estudantes descreveram que seria uma máquina que transforma energia mecânica em energia térmica ou calor, e vice versa;

- Três estudantes disseram que seria uma máquina capaz de manter a temperatura, provavelmente associando-a a um isolante térmico ou a materiais mais presentes no cotidiano, como uma geladeira ou fogão;
- Cinco estudantes mencionaram que seria uma máquina de geração de calor.

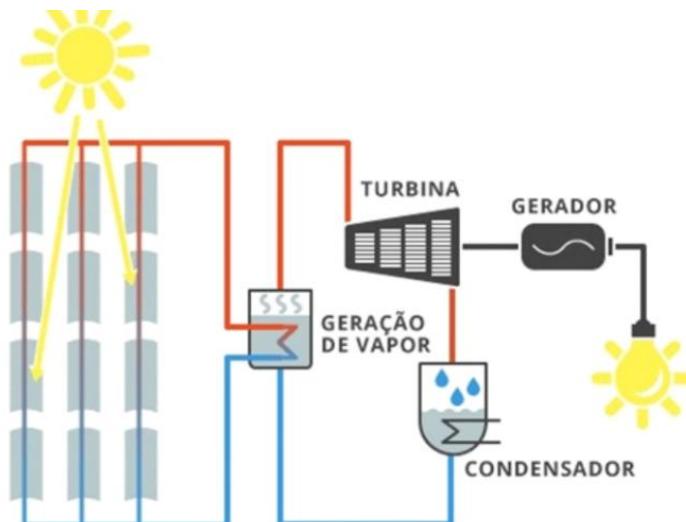
Observa-se uma confusão com outros tipos de equipamentos associados a termologia, como termômetros e isolantes térmicos. Esses materiais serão trabalhados no âmbito do aparato experimental a ser desenvolvido pelos estudantes, segundo os pressupostos de investigação científica mencionados em documentos de referência, como a BNCC:

[...] a área de Ciências da Natureza, por meio de um olhar articulado de diversos campos do saber, precisa assegurar aos alunos o acesso à diversidade de conhecimentos científicos produzidos ao longo da história, bem como a aproximação gradativa aos principais processos, práticas e procedimentos da investigação científica. (BRASIL, 2017, p. 321)

A metodologia, seguindo a linha construcionista, é que o estudante possa compreender o funcionamento desses dispositivos de forma prática, analisando sua potencialidade e aplicabilidade por meio da própria criação da máquina.

Já a questão 7, “A imagem representa o funcionamento de uma usina heliotérmica, em que a irradiação solar é responsável por aquecer uma tubulação d’água e gerar vapor. Descreva como a energia é gerada através dessa usina”, busca entender como o estudante associa a energia térmica à geração de energia em larga escala. A Figura 16 apresenta a imagem mostrada na questão.

Figura 16 – Imagem utilizada como suporte para a questão 7



Fonte: Arquivo do autor (2024).

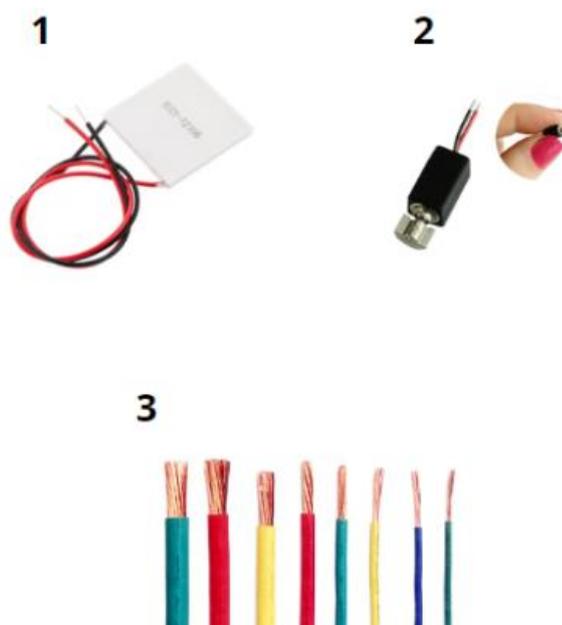
Quanto as respostas o Estudante 13, por exemplo, explica o funcionamento da seguinte forma “O calor é pegado e transferido em vapor, transformando em energia pelo vapor.” A frase demonstra que o estudante não compreende que, conceitualmente, o calor não pode estar acumulado, além de dar uma interpretação errada de como o calor é propagado. Essa mesma concepção é apresentada por mais dois estudantes:

- Estudante 1: O calor pego e foi transformado em vapor, gerando energia pelo gerador;
- Estudante 5: o calor é transferido e aquecido, transformando se em vapor, produzindo energia pelo gerador.

Outros 4 estudantes indicaram que não sabiam responder, enquanto os demais associaram a energia solar. Sendo assim, no geral, os estudantes responderam corretamente ao associarem o uso da energia térmica do Sol pra aquecimento da água, que por sua vez geraria vapor para movimentação das turbinas, tendo como destino final a geração de energia elétrica. Mais da metade dos estudantes trouxeram esse passo a passo.

Por fim, finalizando as questões abertas, a questão 8: “Nas imagens abaixo, quais componentes você conhece? Você sabe suas funcionalidades?”, indaga quanto os componentes essenciais para o funcionamento da máquina proposta. A Figura 17 apresenta a figura apresentada aos estudantes para responder à questão.

Figura 17 – Imagem utilizada como suporte para a questão 8



Fonte: Arquivo do autor (2024).

A Tabela 3 demonstra, em linhas gerais, como os estudantes performaram em relação a pergunta.

Tabela 3 – Respostas quanto a questão 8 do questionário prévio

Nas imagens abaixo, quais componentes você conhece? Você sabe suas funcionalidades?			
Numeração	Componente	Acertaram o que é o componente	Acertaram sua funcionalidade
1	Peltier	0	0
2	Motor vibracall	1	0
3	Fios	14	7

Fonte: Arquivo do autor (2024).

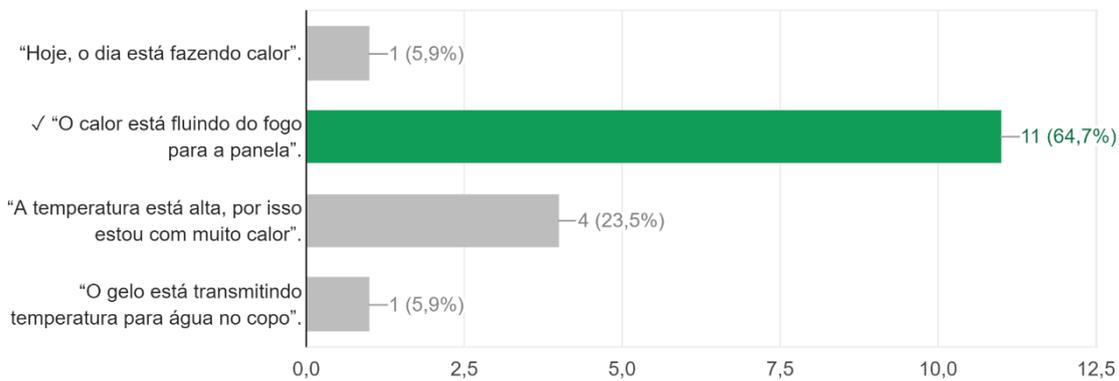
Como esperado, os dois primeiros componentes são desconhecidos pelos estudantes. Por outro lado, os fios de cobre são um material com o qual os estudantes têm maior familiaridade no dia a dia, o que se reflete no número considerável de alunos que indicaram corretamente sua aplicação.

Quanto as questões fechadas, os gráficos representam o desempenho dos estudantes quanto as respostas. Na Figura 17, que aborda a pergunta 9: “No senso comum, as grandezas físicas calor e temperatura geralmente são interpretadas de forma equivocada. Diante disso, a linguagem científica está corretamente empregada em”, boa parte dos estudantes acertaram, o que mostra um aspecto positivo quanto a diferenciação entre o conceito de calor e o de temperatura. Ainda assim, há alguns estudantes associando a alta temperatura ao calor, conforme o senso comum.

Figura 17– Gráfico para a pergunta 9 (pergunta fechada)

No senso comum, as grandezas físicas calor e temperatura geralmente são interpretadas de forma equivocada. Diante disso, a linguagem científica está corretamente empregada em

11 / 17 respostas corretas



Fonte: Arquivo do autor (2024).

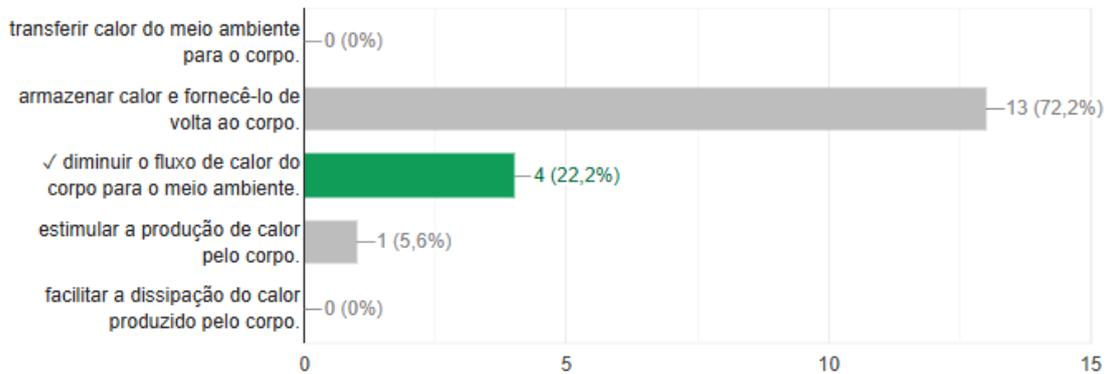
Na Figura 18, que contempla a pergunta 10, observa-se um erro comum entre os estudantes relacionado à propagação de calor. Do total de 17 estudantes, 13 associaram incorretamente as roupas especiais usadas em ambientes de água fria à função de "armazenar calor". Essa associação equivocada pode refletir uma compreensão imprecisa dos processos térmicos, como a condução, convecção e radiação de calor. Embora seja verdade que roupas apropriadas para ambientes gelados, como os trajes de mergulho ou roupas térmicas, ajudem a minimizar a perda de calor corporal, elas não "armazenam" calor, mas sim evitam que o calor do corpo se dissipe rapidamente para o ambiente frio.

Com isso, é provável que os estudantes façam outras associações erradas sobre fenômenos térmicos no seu dia a dia. Por exemplo, ao usar um casaco em um dia frio, muitos podem achar que o casaco "gera calor". Em outros casos, poderiam associar incorretamente o uso de roupas pesadas a um "aquecimento" imediato do corpo.

Figura 18 – Gráfico para a pergunta 10 (pergunta fechada)

A exposição do corpo humano a baixas temperaturas pode causar danos à saúde. Por esse motivo, surfistas utilizam roupas especiais quando praticam seu esporte em águas muito frias. A função dessas roupas é

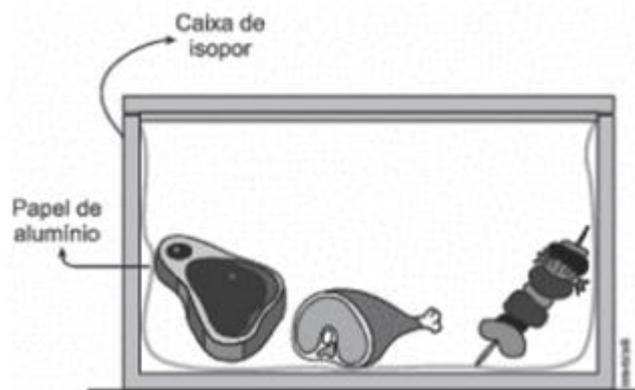
4 / 18 respostas corretas



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Por último, a pergunta 11 “A figura mostra um isolamento feito para conservar alguns alimentos em seu interior, utilizando caixa de isopor e papel de alumínio. Explique como funciona o isolamento realizado pelo material”, traz uma aplicação dos conceitos associados a propagação de calor, investigando qual o entendimento dos estudantes acerca do isolamento térmico, que tem papel fundamental no desenvolvimento do protótipo experimental. A Figura da questão está representada na Figura 19 a seguir.

Figura 19 – Imagem utilizada como suporte para a questão 11



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Embora alguns estudantes demonstraram reconhecer a função de isolamento térmico do isopor e a condutividade térmica do alumínio, como nos casos em que mencionam a dificuldade de troca de calor ou a manutenção da temperatura, a maioria apresenta explicações incompletas ou confusas. Isso reflete um entendimento mais intuitivo do fenômeno do que propriamente científico, indicando dificuldades em articular os conceitos de condução, isolamento e conservação de energia térmica.

O Estudante 4, por exemplo, afirma que a função do alumínio é "conservar o frio". Já o Estudante 5 menciona que "o alumínio diminui a propagação de calor e o isopor o mantém lá dentro", sugerindo a ideia de que o calor poderia ser armazenado no interior da caixa térmica. Nota-se uma tendência recorrente de associar os materiais ao "controle do calor", embora com explicações imprecisas. Dado que o produto educacional envolve uma máquina que requer isolamento térmico para o controle de temperatura, as aulas subsequentes foram direcionadas a abordar mais profundamente esse contexto também, alinhando o conteúdo às necessidades identificadas nas respostas dos estudantes.

5.3 ENCONTRO 2: DISCUSSÕES ACERCA DA PROPAGAÇÃO CALOR

Conforme apontado por Mourão e Sales (2018), uma das estratégias do ensino investigativo é o uso de questões abertas para fomentar discussões. Aproveitando-se desse recurso, o questionário prévio foi elaborado com perguntas abertas que incentivaram reflexões, como ocorreu durante a discussão inicial, em que os próprios estudantes levantaram dúvidas sobre o questionário. Durante essa parte do capítulo, alguns trechos serão relatados e discutidos com base na fundamentação teórica apresentada. Porém, vale salientar que a discussão como um todo evidencia um protagonismo estudantil, mesmo que não tenha sido transcrita por completo.

Para a descrição detalhada, foi feita a gravação da aula com os estudantes, por isso a transcrição precisa das falas. Inicialmente, na aula destacou-se a curiosidade sobre o funcionamento de uma usina heliotérmica, modelo que a maioria afirmou desconhecer até então. Um ponto de destaque foi a associação feita pelos estudantes à ideia de calor. Guiados pelo questionário, eles indagaram como ocorre o processo de propagação de calor do Sol até a Terra e, por fim, até os refletores da usina, considerando que o espaço é permeado pelo vácuo. Essa indagação surgiu do entendimento de que a temperatura está vinculada à agitação molecular e levantou a dúvida: como o Sol poderia transferir calor se não há partículas no vácuo para serem agitadas?

A provocação evidencia um protagonismo estudantil crucial, pois os saberes foram construídos a partir de hipóteses e questionamentos elaborados pelos próprios alunos através de uma situação inicial real, alinhando-se aos princípios da alfabetização científica. Com base nessas discussões, foi possível formalizar o conceito de irradiação, provocando os estudantes a refletirem sobre quais corpos irradiam calor, por meio de um diálogo que aprofundou a compreensão do tema, conforme exposto abaixo.

- Professor: O que irradia calor?
- Estudante 12: Fonte de luz primária irradia calor
- Professor: Nosso corpo irradia calor?
- Turma: Sim
- Estudante 19: A água fervendo também irradia calor, você sente quando se aproxima da chaleira.
- Estudante 11: Mas todos esses são fonte de luz secundária.
- Professor: E o que irradiamos então?
- Estudante 15: infravermelho?
- Estudante 11: Verdade, a cobra detecta isso!

Conforme destacado no Ensino Investigativo proposto por Carvalho (2013), o professor assume o papel de mediador no processo de aprendizagem, estimulando a discussão por meio de perguntas provocadoras e evitando oferecer respostas prontas, permitindo que os estudantes construam o conhecimento por conta própria. Ao mencionar a cobra, o estudante provavelmente fez uma conexão com um passeio promovido pelo colégio a um eco parque, onde o guia explicou que as cobras não enxergam luz visível, mas conseguem detectar presas pelo calor, utilizando o infravermelho. Esse resgate demonstra a importância de valorizar os conhecimentos prévios dos estudantes, como enfatizado por Freire (2002): “Ensinar exige respeito à autonomia do ser do educando”. Esse respeito pelos saberes do educando contribui para reduzir a distância entre seu cotidiano e a formalização dos conceitos físicos sob uma perspectiva científica, tornando o aprendizado mais significativo e conectado à realidade do estudante, conforme apresentado no diálogo abaixo.

- Professor: Mas então qual seria o critério para ser detectado pela cobra?

- Estudante 11: No parque o rapaz disse que as cobras eram frias e tinham dificuldade de ser detectarem, o critério é estar quente então?
- Estudante 15: Deve ter haver com a temperatura ambiente.
- Professor: Para haver troca de calor, o que é necessário?
- Estudante 2: Diferença de temperatura?
- Professor: Como isso se relaciona com a temperatura ambiente e o infravermelho que a cobra enxerga?
- Estudante 15: O corpo precisa estar acima da temperatura ambiente pra liberar infravermelho?
- Professor: Perfeito!
- Estudante 15: Isso me lembrou que já vi gente que quando tá fazendo café, ferve a água, pra economizar energia se coloca um prato em cima da chaleira com um sanduíche em cima pra esquentar o sanduíche
- Estudante 11: Quando o micro ondas daqui (escola) quebrou eu vi gente colocando marmitta naquela parte da cafeteira que esquenta, sabe?
- Professor: Isso seria um processo de irradiação?
- Estudante 12: Não e também, porque aí já tem contato

Nesse diálogo é notório o protagonismo estudantil frente a busca pelo entendimento de como o calor se propaga, em principal pelos exemplos que eles trouxeram, que mesmo sem entender com clareza o funcionamento por trás do processo, levantam o contexto a turma e ao professor. A BNCC (BRASIL, 2017, p. 550) menciona esse processo:

É importante destacar que aprender Ciências da Natureza vai além do aprendizado de seus conteúdos conceituais [...] os conhecimentos conceituais associados a essas temáticas constituem uma base que permite aos estudantes investigar, analisar e discutir situações-problema que emergem de diferentes contextos socioculturais, além de compreender e interpretar leis, teorias e modelos, aplicando-os na resolução de problemas individuais, sociais e ambientais. Dessa forma, os estudantes podem reelaborar seus próprios saberes relativos a essas temáticas, bem como reconhecer as potencialidades e limitações das Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Após essa reflexão com os estudantes, o professor formaliza o conceito de condução. Indagando aos estudantes logo em seguida sobre como ocorre essa condução, conforme apresentado no diálogo abaixo:

- Professor: Como é feita essa condução?

- Estudante 11: Corpo a corpo
- Estudante 13: Os elétrons vibram transmitindo calor, perambulando de uma molécula para outra.
- Estudante 3: Molécula por molécula, como na temperatura.

Essa discussão remeteu aos estudantes um experimento realizado no laboratório pelo professor de Química. Um dos estudantes explica que era sobre uma reação exotérmica, e que o professor pediu para que os estudantes segurassem o béquer para sentirem o aumento de temperatura.

- Estudante 11: Todo mundo pegou e eu era o último. O calor se dissipando ali de mão em mão, quando chegou em mim já não tinha calor nenhum.

Mais uma vez, os estudantes trazem uma situação vivenciada em outro momento com a abordagem atual de calor, dessa vez mencionando conceitos como dissipação de calor, apesar de ainda apresentar o erro quanto ao material “reter” calor, conforme visto na análise do questionário prévio. Baseado no exemplo dos estudantes, o professor indagou quanto a quais outros processos de condução os estudantes identificam no cotidiano. Alguns apontaram cozinhar, falando sobre o aquecimento direto da panela do fogo ou através do forno.

- Professor: Sim. Nesse último caso, semelhante as panelas em cima do fogão. Já que a chama primeiro aquecerá a panela. Mas pode ser qualquer material a fazer isso?
- Turma: Não.
- Professor: Ótimo! Qual material é bom?
- Estudante 15: Um metal, já que a gente usa ele nas panelas.
- Estudante 11: Sim, e tem aquilo do calor específico também. Mas e a madeira? Porque ela não pode ser usada?
- Estudante 15: É diferente, pô. A madeira ia pegar fogo, né, professor?
- Professor: Ele ser inflamável não o torna um bom condutor de calor! O metal é bom condutor, mas não é inflamável! Quais seriam outros bons condutores?
- Estudante 5: O vidro?! Meu avô tem umas panelas de vidro em casa.
- Estudante 15: Eu ouvi falar que algumas das separações dessas cerâmicas é vidro também.

- Professor: Não seria bem vidro. Pode ser alguma fibra, como é com acrílico.
- Estudante 15: É... eu vi na internet uma vez uma casa sem esses negócios entre a cerâmica, serve como isolante térmico, né? Porque dizia no vídeo que com o calor as cerâmicas estouraram.
- Professor: Excelente comentário. No caso, se eu deixo as moléculas mais agitadas quando aqueço um corpo, eles vão querer ocupar algum espaço.
- Estudante 13: Aumentam o volume?
- Professor: Isso. Vamos estudar isso como dilatação térmica. Por isso que as cerâmicas precisam de espaço pra poderem dilatar, e se não tiverem, racham. As pontes precisam disso também.
- Estudante 19: É aqueles espaços vazios que tem nas pontes?
- Professor: Sim! Importante quanto ao vidro: nem todo vidro pode ir ao fogo, certo?
- Estudante 11: Minha avó tinha uma panela que podia ir ao fogo, mas a tampa não.

A discussão, nesse caso, se apresenta como uma forma construtiva de promover o protagonismo dos estudantes, mesmo na ausência de atividades experimentais. Esse diálogo trazido pelos estudantes entre a aprendizagem e as relações socioculturais vivenciadas pelo indivíduo remete à perspectiva de Vygotsky (1991, p. 11), que afirma: “Na melhor tradição de Marx e Engels, o mecanismo de mudança individual ao longo do desenvolvimento tem sua raiz na sociedade e na cultura”.

Além das discussões anteriores, ao longo da aula algumas outras perguntas surgiram, como por exemplo:

- Estudante 15: Mas e a chama? O fogo? Porque tipo... se você usa a chama para aquecer algo, tipo no fogão, seria condução. E quando o pessoal tá igual naqueles filmes acampando? Eles não estão em contato, então é irradiação?
- Estudante 3: Acho que tem convecção também, por conta da fumaça, ela num sobe, né?
- Professor: Muito bem, os três processos podem ocorrer simultaneamente em diversos casos.
- Estudante 3: Mas professor, a irradiação seria uma convecção no vácuo?

— Professor: Isso não seria possível, lembra que o vácuo não possui as partículas que a gente definiu aqui. Além disso, é fundamental entender que o processo de irradiação ocorre por ondas eletromagnéticas, enquanto na convecção é movimento de fluidos, ok?

Ademais, os estudantes foram incentivados a identificar os processos de propagação de calor na usina heliotérmica, o início da discussão. Logo em seguida, foi apresentado aos estudantes os materiais cruciais para a confecção da máquina térmica: a placa Peltier e o motor vibracall. Ambos são sugestões do professor, que levanta a ideia para evitar que utilizem equipamentos que tangenciem a proposta. Ao apresentar a placa Peltier e mostrar a sua fiação, um dos estudantes mencionou que parecia cabos de telefone antigo. Essa observação é interessante, uma vez que o material utilizado para a parte elétrica consiste, basicamente, na fiação de telefone sucateada, já que é um material de cobre de baixa resistência elétrica.

Uma das discussões principais envolveu, também, a última questão do formulário. Os estudantes questionaram quanto ao uso do papel alumínio para conservar a temperatura no interior da caixa de isopor. A estudante 5 lembrou que em alguns filmes estadunidenses mostravam pessoas se bronzeando utilizando um material laminado, como o papel alumínio, refletindo a luz do Sol para o rosto da pessoa. Com isso, os estudantes chegaram à conclusão de que o alumínio deveria estar presente para evitar o fluxo de calor no recipiente através da irradiação, e a discussão prosseguiu:

— Estudante 15: Mas então seria mais interessante fazer caixa de isopor toda de metal, não?

— Estudante 1: Mas ficaria pesada demais, não?

— Professor: E vale salientar que o foco não é apenas a irradiação.

— Estudante 15: Ah sim, por isso o isopor...

— Professor: Isso!

Evidentemente, o professor foi responsável por explicar alguns conceitos que os estudantes não foram capazes de adquirir sozinhos. Vale salientar que as demonstrações investigativas através da apresentação de um fenômeno, gerando discussão entre os estudantes, é uma das abordagens mencionadas por Carvalho (2014) para o Ensino Investigativo, conforme citado no Capítulo 2 (Fundamentação Teórica Pedagógica).

Sendo assim, o professor indagou os estudantes quanto ao funcionamento de uma garrafa térmica.

— Estudante 11: O interior dela é todo alumínio.

— Professor: Isso. Mas importante saber que não necessariamente alumínio.

— Estudante 11: Ah sim, sim, no caso é metalizado.

— Professor: Perfeito. E o espaço vazio? Você já deve ter reparado que ao encher com café ou algo semelhante dá a impressão de que cabe menos líquido do que deveria.

— Estudante 12: Tem um espaço vazio nela! Quando a garrafa lá de casa quebrou deu pra ver.

— Professor: E esse espaço vazio tem qual finalidade?

— Estudante 11: Impedir calor por condução e convecção.

— Professor: E impede totalmente?

— Estudante 11: Eu acho que não, quando abre a tampa sai fumaça se tiver quente.

— Professor: Está correto. Mas se mantermos ela fechada por um bom tempo?

— Estudante 2: Mesmo assim. Se você deixar água gelada por muito tempo ela esquenta.

Essa concepção do funcionamento do isolamento da caixa de isopor e da garrafa térmica é fundamental para construção do aparato experimental devido a necessidade de um isolamento térmico. Inclusive, após a discussão quanto a garrafa térmica os estudantes indagaram se esse isolamento caracteriza uma máquina térmica. Baseado na pergunta, foi discutido com os estudantes o que seria uma máquina térmica e exemplos, fazendo um gancho com a construção da máquina de Seebeck. Como a proposta partiu do professor, se iniciou a discussão refletindo sobre a necessidade e viabilidade da produção de energia em larga escala utilizando a energia térmica, diferente das usinas já conhecidas, como a de heliotérmica e as placas fotovoltaicas. Para isso, seria necessário um fluxo de calor, conforme mencionado pelos estudantes:

— Estudante 11: Se é pra gerar energia elétrica com energia térmica, precisa ter diferença de temperatura pra gerar calor, né?

— Professor: Isso! Alguma sugestão?

- Estudante 11: Tem que ser um material bom, né?
- Professor: O que seria um material bom? Qual propriedade física ele precisa ter?
- Estudante 13: Polaridade?
- Professor: Algo mais próximo do calor.
- Estudante 15: Calor específico?
- Professor: Porque?
- Estudante 15: Porquê aí ele demoraria mais tempo pra mudar temperatura, tipo a água, o senhor deu exemplo quando vimos esse assunto da água da praia, que de manhã ela pode estar gelada e a noite quente.
- Estudante 12: A gente pode usar a água então?
- Professor: Podemos testar. Mas como armazenar ela? Qual recipiente?
- Estudante 11: Aí teria que ser um recipiente que não é bom condutor.
- Estudante 15: Não, bicho, como ia ter fluxo de calor na Peltier?
- Professor: E então...?
- Estudante 2: Pode ser metal?
- Estudante 11: Acho que não necessariamente, podia ser com o interior metalizado, tipo caixa de leite.
- Estudante 3: Mas aí seria mau condutor. Num tava no isolamento?
- Estudante 11: Mas se fosse mau condutor, ia demorar pra esfriar o leite quando botasse na geladeira, não faria sentido.
- Estudante 15: É, e se tu pôr a caixa do lado de fora da geladeira ela esquenta muito rápido.
- Estudante 9: E se fosse de suco?
- Estudante 13: É o mesmo material, não?
- Estudante 11: É, mas se for redonda acho que não funciona.

É importante destacar que, durante essa discussão, os estudantes já tinham conhecimento sobre o tamanho e o funcionamento da placa Peltier. Quando o Estudante 11 sugeriu o uso de uma caixa de leite, ele não apenas fez uma associação com conceitos trabalhados em discussões anteriores, mas também relacionou a proposta a uma característica física da placa, já que uma caixa de leite seria suficientemente grande para cobrir toda a superfície da placa. Além disso, os estudantes trouxeram muitas contribuições baseadas em

seus conhecimentos de mundo, derivados de suas próprias vivências. Embora a caixa de leite pudesse não ser a solução ideal, o professor orientou que seria uma possibilidade válida a ser testada durante o experimento. Caso não fosse um material previamente caracterizado, outra abordagem poderia ser sugerida, como solicitar os estudantes mais de um tipo de material além da caixa de leite para ter dois reservatórios, instigar já no debate mais opções de materiais etc.

— Estudante 3: Mas precisa proteger a placa? Tipo na caixa de isopor.

— Professor: Precisa?

— Estudante 3: Acho que sim, se o objetivo é usar a energia na placa então não pode perder energia pra fora.

— Professor: E como evitar que isso aconteça?

— Estudante 19: Usa uma caixa de isopor, tipo na carne daquela questão.

— Estudante 15: Poderia ser um térmico daqueles que tem em casa.

— Professor: O tamanho serve?

— Estudante 15: Com certeza, é muito grande.

— Professor: Mas isso poderia ser um problema também?

— Estudante 15: É... não sei.

— Estudante 11: Ficaria muito espaço vazio?

— Professor: Ficar muito espaço vazio seria um problema?

— Estudante 15: Ah, pô, aí troca calor com ar, né?

— Professor: Isso!

— Estudante 3: Então a gente vai ter que construir nosso próprio isopor?

— Professor: Não necessariamente isopor.

— Estudante 3: Será que madeira funciona?

— Professor: É um bom material, já que vimos que a madeira não é um bom condutor.

— Estudante 13: Pô, mas aí a gente precisaria cortar a madeira no tamanho certo, como que a gente vai fazer isso?

— Estudante 1: Melhor usar aqueles papéis de isopor.

— Estudante 9: Papel de isopor?

— Estudante 1: Não, não. Desculpa. Placa de isopor!

Novamente, é possível perceber que os próprios estudantes são capazes de distinguir os materiais a serem utilizados, sem necessariamente pressupor um roteiro anteriormente. Ao caracterizar o experimento com caixa de leite previamente, esperava-se o uso desse material por ser acessível, mas nota-se que os estudantes cogitaram esse material devido a influência da última questão do questionário prévio, assim como a necessidade do uso do isopor. Além de ser um material com menor custo e mais fácil de encontrar, ele permite o manuseio sem mão de obra especializada.

Com a discussão concluída, o professor separou alguns materiais para a próxima aula, antecipando a possibilidade de que algum material não fosse ideal ou de que o experimento não funcionasse como esperado. Embora seja importante fornecer liberdade para que os estudantes aprendam por meio da tentativa e erro, também é essencial evitar que eles se frustrem completamente com suas tentativas. Devido ao tempo limitado e à necessidade de cumprir o conteúdo programático da disciplina, não haveria tempo suficiente para que os estudantes refizessem o experimento por completo, por exemplo.

5.4 ENCONTRO 3: MONTAGEM DO APARATO EXPERIMENTAL

Com base nos materiais propostos pelos estudantes na aula anterior e nas orientações fornecidas pelo professor para o início da construção da máquina térmica, os alunos deram início à produção da máquina no laboratório da escola. Eles foram divididos em quatro grandes grupos, composto por 4 ou 5 estudantes. Os materiais básicos, como tesouras e fitas, já estavam disponíveis nas dependências da escola, sendo guardados para atividades extraclasse e para projetos como este.

Os estudantes se articularam entre si para formação dos grupos, distribuídos da seguinte forma:

- Grupo 1: Estudante 8, 10, 11 e 13.
- Grupo 2: Estudante 1, 2, 4, 5 e 14.
- Grupo 3: Estudante 6, 7, 9, 17 e 18.
- Grupo 4: Estudante 3, 8, 15, 16 e 19.

A confecção da máquina térmica seguiu a proposta pedagógica de trabalhar as habilidades EM13CNT102, EM13CNT1026 (106) e EM13CNT107. No contexto da habilidade EM13CNT101, citadas no tópico 2.3. Os estudantes analisaram as transformações de energia térmica em energia elétrica dentro do sistema da máquina térmica. No entanto, essa

habilidade foi aplicada não apenas de forma teórica, mas também prática, ao transformar a análise em ação. Por exemplo, ao utilizar uma pilha para testar o funcionamento do motor, os grupos perceberam que seria necessário retirar o revestimento dos fios para fazer a ligação corretamente. Dessa forma, os alunos removeram a capa protetora dos fios de cobre e da placa Peltier, deixando-os expostos para a conexão.

Além disso, a habilidade EM13CNT107, que envolve a previsão do funcionamento de componentes elétricos, foi trabalhada de forma contínua ao longo da atividade, uma vez que o sucesso dos testes só seria confirmado no resultado final. Já a habilidade EM13CNT106, relacionada ao pensamento crítico sobre custo-benefício e desenvolvimento sustentável, foi abordada desde o início da construção. Os estudantes utilizaram materiais reaproveitados, como placas de isopor provenientes de eventos anteriores da escola, para isolamento térmico, e garrafas Tetrapak reaproveitadas para a construção do reservatório. Inclusive, o EVA foi usado para melhorar a fixação da placa, conforme ilustrado na Figura 4.6, sendo um material que seria descartado pela escola, mas que foi reaproveitado de maneira criativa na atividade.

Vale ressaltar que a utilização desses materiais em larga escala poderá ser discutida em outro momento, uma vez que a atividade também proporcionou reflexões sobre práticas sustentáveis e a reutilização de recursos.

Foi possível averiguar uma socialização na resolução de problemas pelos estudantes, já que um dos grupos percebeu a dificuldade de fixação da placa Peltier sem um suporte. Um dos grupos resolveu fazer esse suporte, conforme visto na Figura 20, e assim os demais aderiram, conforme a Figura 21, que mostra outro grupo utilizando o material. A Figura 21 também transparece a divisão de tarefas estabelecida entre o grupo, mostrando que, enquanto um cortava o EVA, outro membro estava buscando medições para fixação da placa na seção retangular da caixa.

Figura 20 – Proteção de EVA, proposta pelo Grupo 1, para facilitar fixação da Peltier



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Figura 21 – Proteção de EVA, utilizada pelo Grupo 4, seguindo o Grupo 1



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Essa importância da socialização de saberes está presente no Currículo de Pernambuco:

É no bojo da equidade e do direito à aprendizagem, com vistas a uma educação de qualidade e comprometida com a justiça e a inclusão, que se dá a formação integral do ser. Essa perspectiva de formação visa ao desenvolvimento do sujeito em todas as suas dimensões, pois a enxerga não apenas cognitivamente, mas também social, emocional, cultural, espiritual e fisicamente. (Pernambuco, 2019, p. 19)

Como mencionado, a troca de saberes na aula anterior incentivou todos os grupos a utilizarem garrafas de leite, feitas de material Tetrapak, na construção da máquina térmica. Um dos grupos trouxe uma caixa de suco com uma tampa protuberante, e, antes mesmo de

começar a experimentação, alguns estudantes levantaram a questão de que não seria possível usar aquele lado da caixa para fixar o material, devido à diferença de nível.

Com efeito, alguns grupos não possuíam todos os materiais necessários. Por exemplo, o EVA e as fitas usadas para fixar os reservatórios à placa foram compartilhados por dois grupos, que os disponibilizaram para os demais. Da mesma forma, a placa de isopor foi reutilizada e compartilhada entre os próprios grupos, no exato instante em que os grupos que possuíam o material verificaram que os demais não haviam providenciado. As Figuras 22 e 23 mostram etapas do desenvolvimento da máquina para dois grupos distintos.

Figura 22 – Fixação dos reservatórios com fita, feita pelo Grupo 1, após a proteção de EVA na placa



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Figura 23 – Fixação dos reservatórios com fita, feita pelo Grupo 2, após a proteção de EVA na placa



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Um outro aspecto importante presente nas Figuras 22 e 23 são as socializações dos estudantes, foi possível notar na atividade a participação individual de cada um na experimentação, assim como a colaboração entre eles, tanto de membros do mesmo grupo que se ajudavam pra tarefa como a fixação da placa, como na socialização de membros de diferentes grupos para auxiliar em determinada etapa que um dos grupos teve maior facilidade. Isso fortalece como a sequência é capaz de atender o Currículo de Pernambuco e a BNCC, já que demonstra o desenvolvimento de habilidades desenvolvidas em grupo, independente do objeto de conhecimento analisado.

Essa socialização permite a troca de saberes, e incentiva os estudantes a lidarem com o compartilhamento de informações para a sociedade, conforme as palavras de Carvalho:

[...] é preciso que os estudantes tenham oportunidades de compartilhar suas ideias com seus pares, tanto em pequenos grupos, quanto com a sociedade em sala de aula. Pequenos grupos proporcionam oportunidades para os alunos explicarem e defenderem seus pontos de vista, o que estimula a aprendizagem. No processo de contar aos outros como pensam sobre um problema, os estudantes elaboram e refinam seus pensamentos e aprofundam sua compreensão. (Carvalho, 2014, p. 25)

Após concluir os ajustes no reservatório e a fixação da placa Peltier, os estudantes verificaram se os reservatórios comportavam água sem apresentar vazamentos. O ideal seria

que essa verificação ocorresse antes, pois é possível realizá-la antes de fixar a placa. No entanto, sob a perspectiva construcionista, é interessante que os estudantes descubram essa questão ao longo do próprio processo. O grupo 2, por exemplo, percebeu que, com o peso da água, um dos reservatórios ficaria mais inclinado do que o outro. Eles ajustaram a fixação antes do término da aula e, assim como os demais grupos, deixaram o material pronto para ser finalizado na próxima aula.

5.5 ENCONTRO 4: FINALIZAÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL

Duas semanas depois, os estudantes se reuniram novamente para continuar a montagem do aparato experimental. Dessa vez, com os reservatórios já preparados, o foco foi na elaboração do isolamento térmico e no teste de funcionamento da máquina. A Figura 24 mostra o Grupo 3 reunido junto ao professor para foto de divulgação para as redes sociais da escola, no início da atividade.

Figura 24 – Grupo 3 reunido junto ao professor Audênio Vinícius



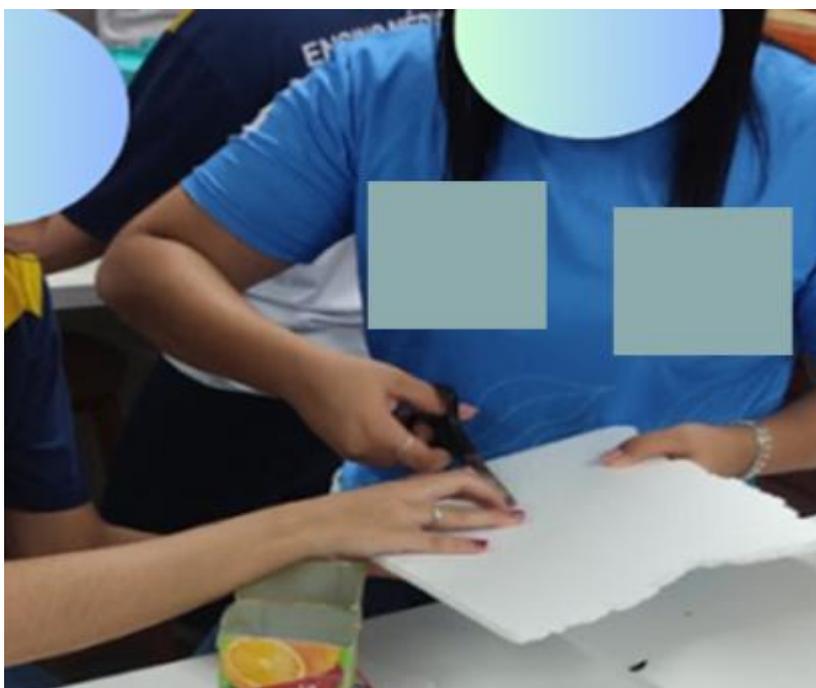
Fonte: Arquivo do autor (2024).

Conforme mencionado, os estudantes já haviam se articulado na divisão da folha de isopor, de forma que todos os grupos se basearam nesse material para realização do isolante. Importante frisar essa interação entre os estudantes e como isso foge da esfera conteudista, conforme cita Carvalho (2013) “Além do conhecimento adquirido neste processo (fatos e conceitos), há a aprendizagem de outros conteúdos procedimentais e atitudinais, além de

valores e normas que possibilitam a aprendizagem dos primeiros”. Sendo assim, os estudantes experenciam uma troca de saberes entre si dentro do ensino investigativo, além da prática de socialização, e diversos valores humanos.

Nesse aspecto, a Figura 25 mostra integrantes do Grupo 3 realizando medições para o corte da placa de isopor, mantendo um tamanho mais rente ao tamanho do reservatório, conforme citado a discussão da aula realizada no dia 03/05/2025.

Figura 25 – Ajustes na placa de isopor para confecção do isolamento da máquina térmica, realizada pelo Grupo 3



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Como o isopor é um material poroso, os estudantes tiveram dificuldades para fazer ajustes mais finos, como encaixar as laterais com o mesmo tamanho, já que a fixação das partes acaba desnivelando a construção do isolante. A Figura 26 mostra os estudantes do Grupo 1 tentando realizar essa fixação com cola de isopor, tentando manter a estrutura fixa.

Figura 26 – Tentativa de fixar as paredes do isolante térmico com placa de isopor e cola de isopor.



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Apesar da dificuldade inicial, os estudantes trouxeram soluções alternativas. O Grupo 1, por exemplo, utilizou fita isolante. Um dos integrantes do grupo acreditou que seria um material essencial para construção da máquina térmica devido ao uso de material elétrico, acreditando que seria necessário utilizar um material isolante para evitar possíveis acidentes envolvendo corrente elétrica. Nessa situação, é importante o professor apenas intervir apenas se necessário, já que até então a experimentação é controlada, o estudante pode descobrir por si só a necessidade da fita isolante, inclusive pela observação de outros grupos. A descoberta das próprias conclusões faz parte do protagonismo estudantil pressuposto pela BNCC (2017):

A abordagem investigativa deve promover o protagonismo dos estudantes na aprendizagem e na aplicação de processos, práticas e procedimentos, a partir dos quais o conhecimento científico e tecnológico é produzido. Nessa etapa da escolarização, ela deve ser desencadeada a partir de desafios e problemas abertos e contextualizados, para estimular a curiosidade e a criatividade na elaboração de procedimentos e na busca de soluções de natureza teórica e/ou experimental. Dessa maneira, intensificam-se o diálogo com o mundo real e as possibilidades de análises e de intervenções em contextos mais amplos e complexos, como no caso das matrizes energéticas e dos processos industriais, em que são indispensáveis os conhecimentos científicos, tais como os tipos e as transformações de energia, e as propriedades dos materiais. Vale a pena ressaltar que, mais importante do que adquirir as informações em si, é aprender como obtê-las, como produzi-las e como analisá-las criticamente. (Brasil, 2017, p. 551)

Com o material em mãos, os estudantes fizeram uma colagem utilizando a fita. O Grupo 4, junto a cola de isopor, utilizou os próprios fios interligando os vértices e extremidades das placas, uma solução alternativa encontrada com o material disponível.

Como as conexões passaram por dentro da placa de isopor, não é possível vê-las na Figura 27, porém é possível destacar como o isolante térmico do Grupo 4 obteve maior estabilidade em relação aos demais, que se assemelhou mais a um cubo fechado, sem precisar fazer pequenas quebras no isopor, como ocorreu nos outros grupos.

Figura 27 – Tentativa de fixar as paredes do isolante térmico pelo Grupo 4

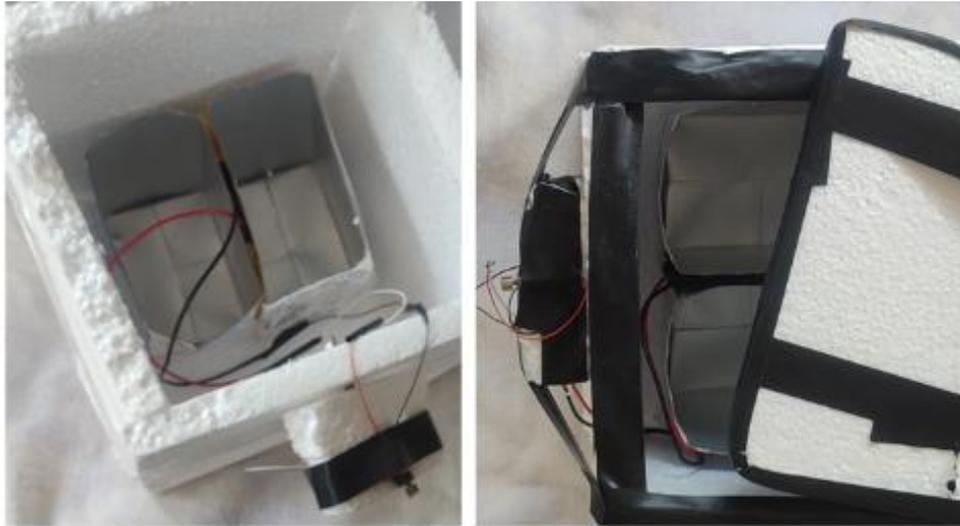


Fonte: Arquivo do autor (2024).

Em dado momento, um dos grupos utilizou uma pilha para verificar se a ligação feita da Peltier com o motor estava funcionando, verificando se o motor iria girar ao conectar os polos da pilha com as conexões realizadas. Baseado nisso, outros grupos fizeram o mesmo. O Grupo 2, nesse caso, apresentou dificuldades, já que havia feito o isolamento de todas as partes de cobre expostas da fiação, precisando retirar para realizar o teste.

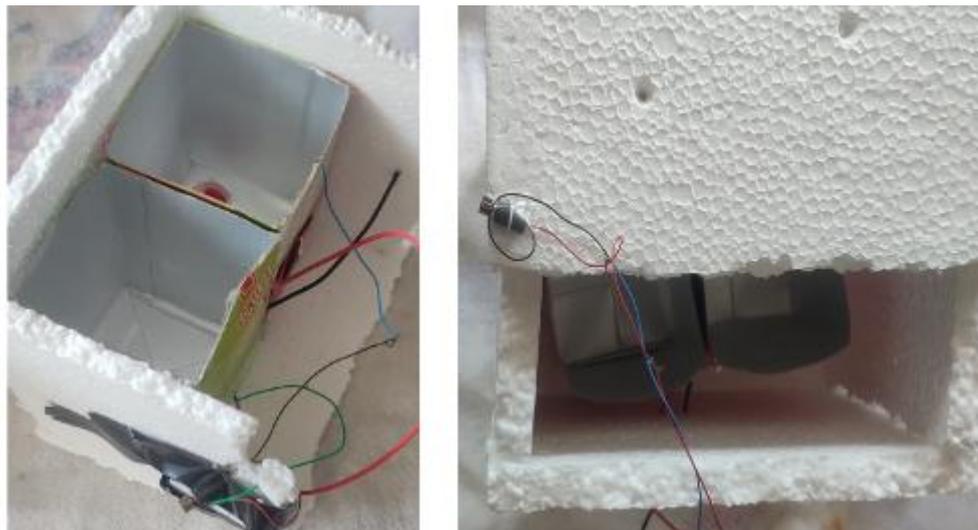
O resultado final da confecção da máquina térmica pelos grupos, junto a seu isolamento com placas de isopor realizado, está presente nas Figuras 28 e 29. Um detalhe importante é o posicionamento do motor e como os estudantes pensaram em projetar ele para região externa do isolamento. Com o objetivo de deixar o motor exposto para possíveis usos, cada grupo pensou em uma possibilidade. O Grupo 2 utilizou um suporte colado com fita isolante. O Grupo 4 chama atenção por ter utilizado alguns fios para prender o motor, que vibra bastante, apresentando instabilidade quando ligado. Os demais grupos, seguindo a proposta do Grupo 2, fixou o motor com fita isolante.

Figura 28 – Máquinas térmicas produzidas pelos Grupos 1 e 2, respectivamente



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Figura 29 – Máquinas térmicas produzidas pelos Grupos 3 e 4, respectivamente



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Seguindo a Tabela 1, proposta por Carvalho (2017, p. 39), foi possível notar que o grau de liberdade durante a aula experimental foi de Grau IV. Isso ocorre pelo problema inicial, da geração de energia e sua proposta, ter partido do professor. Porém, nota-se que as hipóteses de como estabelecer esse processo, assim como o plano de trabalho e as demais etapas foram estipuladas e realizadas pelos próprios estudantes, que foram firmes em suas propostas e alcançaram a confecção da máquina. Assim como pressuposto pelo construcionismo, caso o teste ou a obtenção de dados de alguma máquina não seja possível,

também faz parte do resultado devido às limitações que caberá ao estudante identificar. Segundo palavras de Carvalho (2017, p. 39):

Nas aulas experimentais, sejam de demonstração ou de laboratório, um dos objetivos principais a serem alcançados, além do ensino do conteúdo conceitual intrínseco ao experimento – o conceito ou a lei –, é ensinar o conhecimento processual da ciência. Se for para os alunos conhecerem só o fenômeno, sem a discussão conceitual ou legal, é mais fácil e mais rápido recorrer a um vídeo do que preparar todos os arranjos experimentais necessários para essas aulas. Desse modo, é importante observar quem – professor ou alunos – raciocina e toma decisões sobre o processo da construção do conhecimento a ser ensinado. Deve-se observar se o professor é o expositor ou o condutor do conhecimento produzido. (Carvalho, 2017, p. 39)

Dito isto, a atividade experimental, seguindo o construcionismo, permitiu que o estudante fosse autor do seu conhecimento, seguindo a atividade com tutela do professor, que não realizou interferência nos pressupostos principais estabelecidos pelos próprios estudantes. Tudo isso caracteriza a experimentação como um laboratório aberto, conforme apresentado na Tabela 2, já que os estudantes foram capazes de estipular seus próprios procedimentos e tirar conclusões de como realizar a confecção por si mesmos. É importante destacar que essas conclusões no laboratório em si se diferenciam das conclusões presentes na Tabela 1, que designa conclusões relacionadas a problemática em si, que no caso trata-se da geração de energia em larga escala e do potencial da máquina de Seebeck. Para isso, é necessário a discussão com os estudantes para entender quais as conclusões sobre o projeto desenvolvido.

Por fim, todos os grupos foram capazes de fazer o motor funcionar, atestando que a energia térmica poderia ser convertida em energia mecânica. Os estudantes verificaram o tempo em que o motor passou funcionando e a temperatura de operação, registradas na Tabela 4. Vale salientar que, para a água quente utilizada, foi acordado com a cantina da escola, previamente, para aquecer a água. Utilizando duas garrafas térmicas, os estudantes se distribuíram para utilizar a água delas no reservatório que serviria como fonte quente. Para a fonte fria, a cantina da escola também ficou responsável por guardar alguns recipientes com gelo, que foram colocados em um cooler pequeno. Evidentemente, os grupos que acessaram primeiro os materiais possuíam a vantagem de ter a água quente e a água fria com maior e menor temperatura, respectivamente.

Tabela 4 – Dados de temperatura e do tempo de funcionamento da máquina térmica

Grupo	Tempo total de funcionamento (s)	Temperatura - Fonte quente (°C)		Temperatura - Fonte Fria (°C)	
		Inicial	Final	Inicial	Final
1	180	70,2	63,5	6,2	7,6
2	200	60,9	58,8	7,0	7,6
3	420	85,6	57,9	5,7	6,9
4	110	79,5	75,3	7,0	9,4

Fonte: Arquivo do autor (2024).

Conforme apresentado na Tabela 4, o Grupo 4 obteve o menor tempo de funcionamento do motor. Apesar de terem feito o isolamento mais robusto que os demais, nota-se que houve uma mudança de temperatura muito pequena na fonte quente do início ao fim do experimento, diferente dos demais grupos. Possivelmente no acoplamento da placa aos reservatórios, houve algum empecilho material que impedia que a fonte quente fornecesse calor para fonte fria tal qual nos demais grupos. Outra possibilidade é o uso da fita isolante em pontos de contato da fiação, pois elimina a visibilidade para saber como a conexão foi feita, podendo ser uma falha de conexão elétrica.

Já para o Grupo 2, o motor não girou imediatamente. Para verificar o problema, o docente sugeriu que os estudantes verificassem as conexões. Um dos estudantes do grupo, ao conectar uma pilha nas conexões expostas do aparato, observou o funcionamento ao ligar alguns terminais e em um deles em específico não. Para fazer o motor funcionar, os estudantes cortaram parte da fiação e a amarraram novamente, o que fez com que o motor passasse a funcionar. Ainda assim, mesmo com esse imprevisto, o tempo de funcionamento do motor foi bastante elevado, pois, em relação à caracterização realizada, foi quase o mesmo tempo, mas com um gradiente de temperatura muito menor.

O Grupo 3 foi o grupo que apresentou maior tempo de funcionamento do motor, o que é curioso devido à ausência de isolamento térmico completo. Como mostrado na Figura 29, uma das faces do isolamento não foi colocada, além da tampa que também não foi confeccionada. Isso demonstra a importância do contato térmico com a Peltier, em detrimento de outros aspectos como o isolamento. Vale ressaltar a diferença de temperatura, tanto em relação aos outros grupos quanto em relação aos reservatórios. O Grupo 3 foi mais ágil que os

demais grupos, deixando o termômetro já inserido no reservatório, e a fiação passando por orifícios previamente feitos, o que justifica o resultado e o gradiente de temperatura obtido

O Grupo 1, por sua vez, apresentou dificuldade para fazer o motor girar no início, porém um pequeno empurrão na cabeça do motor foi capaz de fazê-lo girar, iniciando o movimento que durou 3 minutos.

Além do motor funcionando e do princípio de conservação de energia envolvido, os estudantes foram convidados, em um segundo momento, a tentar erguer um peso com o motor. Para isso, a cantina forneceu mais água aquecida e mais gelo. De início, os estudantes tiveram dificuldades para administrar o registro de temperatura, cuidar do isolamento e verificar se o peso entraria em movimento ou não. Mesmo tentando apenas erguer o peso, os estudantes não conseguiram achar algum material com peso ideal para ser erguido. Além da dificuldade com o peso ideal, tentaram utilizar uma linha de tecido fina, fornecida pelo professor, para amarrar no motor e prender no peso. Porém, como a cabeça do motor não é uniforme, os estudantes também encontraram dificuldade para deixar o fio firme e fazer com que o motor puxasse o fio.

Vale salientar que a atividade foi aplicada de forma igualitária a todos os estudantes da turma, sem distinções no desenvolvimento das propostas. Os estudantes com diagnóstico de transtorno do espectro autista (TEA) participaram integralmente de todas as etapas, incluindo a montagem experimental, os momentos de investigação e a socialização dos resultados em grupo. Sua atuação ocorreu de maneira espontânea e integrada, evidenciando que a estrutura da atividade favoreceu a inclusão e a participação ativa de todos, sem a necessidade de adaptações específicas no processo de ensino-aprendizagem.

5.6 ENCONTRO 5: DISCUSSÃO ACERCA DO APARATO E A GERAÇÃO DE ENERGIA

Assim como no tópico 5.2, o áudio da aula foi gravado para manter a transcrição da fala dos estudantes e do professor na íntegra. Inicialmente, em sala de aula, os estudantes distribuíram-se em grupos conforme os grupos montados para montagem do aparato experimental. A discussão foi iniciada quanto a máquina montada pelos estudantes. Foi solicitado aos estudantes que mencionassem o que foi utilizado para confecção e com qual objetivo. Alguns membros de cada grupo se prontificaram a iniciar a discussão, conforme descrito abaixo. Assim como o tópico 4.2, os relatos são aspectos principais da discussão, porém ela foi mais além do que a transcrição mencionada em texto. Além disso, como a

discussão dividiu espaço com a resolução do questionário final, houve um tempo menor em relação ao tópico 4.2.

— Grupo 3: A gente fez um negócio com isopor, um térmico, isolante. Era pra impedir ao máximo que o calor externo interferisse no experimento. A caixa de leite a gente usou por conta das paredes espelhadas, pra diminuir a irradiação, né isso? Os fios funcionavam junto com a placa e o motor pra poder transmitir a energia que tava dentro das caixas de leite pra o motorzinho.

— Grupo 2: É, o fio transmitia eletricidade mesmo, por isso a gente usou o fio. Agora porque não dava choque? A gente tocou e tudo.

— Professor: Sim, eu vi que alguns precisaram ajustar os fios com a máquina funcionando. Inclusive, um dos grupos trouxe fita isolante com a preocupação do choque. Algum sentiu algum choque ao manusear?

— Grupo 2: Ninguém daqui. É porque é pequeno?

— Professor: O que seria pequeno?

— Grupo 2: A energia elétrica, pequena, baixa. A tomada é pra TV, computador, um monte de coisa. Acho que não dá pra ligar uma TV no experimento da gente, né, então deve ter menos energia elétrica.

Interessante notar a indagação dos estudantes do Grupo 2. Ao transferir-lhes a pergunta, dois aspectos se destacaram: em primeiro lugar, eles tangenciaram o tema — a forma como a máquina foi confeccionada — mas logo buscaram também relacioná-lo a um aspecto físico trabalhado pela SEI. Em segundo lugar, surpreendeu o fato de terem chegado por conta própria às respostas das próprias perguntas que formularam. Evidentemente, o papel do professor é fundamental nesse processo, pois nem sempre as respostas serão coerentes do ponto de vista físico.

Além disso, o Grupo 3 demonstrou compreender aspectos relevantes da propagação de calor ao descrever a utilização de isopor como isolante térmico, com o objetivo de minimizar a interferência do calor externo no experimento. Destacaram o uso da caixa de leite pelas paredes espelhadas, associando esse recurso à redução da interferência da irradiação térmica. A fala evidencia uma percepção intuitiva dos mecanismos de condução e irradiação do calor, articulando o conhecimento empírico à proposta experimental. Continuando:

- Grupo 4: Sobre o isopor, tem aquilo de evitar condução, né, pois o interior vai tá isolado, a caixa de leite seria evitar a perda por irradiação.
- Grupo 1: É a própria plaquinha também, foi usada pra transformar o calor no movimento que a gente viu. E quem transportava essa energia eram os fios, né isso?
- Professor: Isso, e como essa energia foi gerada?
- Grupo 3: Pela água fria e quente, que transferia calor de um lado pro outro com a placa no meio.
- Grupo 1: É, mas antes de mexer o motor virava energia elétrica antes.
- Grupo 2: Talvez a pergunta dele seja antes disso aí tudo, pô. A água tava quente como?

As falas dos Grupos 1, 3 e 4 revelam uma compreensão progressiva e articulada sobre os mecanismos de propagação de calor envolvidos no experimento. O Grupo 4 reconheceu o papel do isopor na redução da condução térmica e da caixa de leite na contenção da irradiação, que apesar de já ter sido atestado pelo Grupo 3 anteriormente, trouxeram uma abordagem diferente, mencionando diretamente os mecanismos envolvidos. O Grupo 3, por sua vez, complementou explicando que a diferença de temperatura entre a água quente e fria promovia a transferência de calor através da placa.

Os estudantes do Grupo 2 chegaram a uma conclusão interessante que fazia parte do planejamento do professor de provocar: apesar da energia ter sido convertida ali, ela possuía uma fonte anterior, assim como todas as usinas de energia em larga escala. Uma placa solar, por exemplo, tem como fonte o Sol; a água quente, por outro lado, utilizou nesse experimento uma fonte de energia de outra usina. Essas conclusões e perguntas como na discussão inicial eram defendidas por Carvalho (2017, p. 19):

Muitas vezes, quando estudamos as interações professor-alunos, encontramos aulas em que os alunos participam bastante, respondendo a todas as questões feitas pelo professor, o que nos dá a impressão de uma aula muito ativa. Entretanto, quando examinamos mais detalhadamente as perguntas, observamos que elas levam os alunos a responder mecanicamente, a falar coisas que eles já sabem, simplesmente precisando da memória para responder.

Incentivar os estudantes a se questionarem no processo, a buscar respostas que não sabem e se prontificarem a ir além do que o trabalho é uma proposta do ensino investigativo. Além disso, Papert (1993) defende a concepção de que os estudantes aprenderam ciência quando começarem a se indagar sobre como os processos são

estabelecidos, e não apenas quando se submetem a ele. Por fim, retomando a discussão em sala de aula:

— Grupo 3: Certo, mas aí a gente converteu energia elétrica pra aquecer a água, num foi?

A pergunta do Grupo 3 traz referência ao fato de ter sido utilizado algum instrumento elétrico para aquecer a água que iria para o reservatório quente, como um mergulhão, por exemplo, baseado na pergunta do Grupo 2.

— Professor: Continue ...

— Grupo 3: Oxe, então a gente em algum momento converteu energia elétrica em energia elétrica?

— Professor: De certa forma, sim, com um intermediário. Haveria problema nisso?

— Grupo 3: Seria mais fácil botar direto na tomada.

— Professor: Mas como não botamos, há alguma consequência?

— Grupo 2: Perde energia?

— Professor: Perfeitamente. Parece uma proposta viável em larga escala?

— Grupo 1: Não vale a pena, pois a gente precisaria de um dispositivo que aquecesse e esfriasse a água, então a gente ia gastar energia pra gerar energia.

— Grupo 2: E tem um custo em reais pra isso também

— Grupo 4: Mas a heliotérmica não utiliza um princípio parecido? É só aquecer a água feito eles fazem e deixar um espaço separado para esfriar outra quantidade de água.

— Grupo 2: É, mas aí seria mais fácil deixar só a heliotérmica, sem ter esse trabalho aí, né não?

— Professor: E se de repente fazer o que o Grupo 4 mencionou gerasse mais energia do que apenas a heliotérmica?

— Grupo 2: Ah, acho difícil.

— Professor: Porque?

O resgate do grupo quanto a usina heliotérmica é fundamental para a discussão, em principal por ser um dos mecanismos que extrai energia térmica em elétrica. Dessa forma,

eles se baseiam em conhecimentos prévios e na própria formação cidadã, pois avaliam possibilidades para destacar vantagens e desvantagens em um aspecto macro, conforme menciona Vygotsky (1991, p. 14), não se trata apenas de obter dados quantitativos ou qualitativos experimentalmente, mas sim que os métodos da experimentação forneçam meios do estudante adquirir significados através da atividade. Em seguida, respondendo à pergunta do professor:

— Grupo 3: O isopor mesmo, a gente apanhou pra fazer um negócio pequeno desse, imagina do tamanho de um prédio.

— Professor: Mas o isolamento é essencial?

— Grupo 2: Essencial não é, que o grupo ali fez sem e funcionou bem haha. Mas deve ajudar, se não a gente não tava usando no dia a dia.

— Grupo 4: O meu grupo deixou o gelo fora da cumbuca por muito tempo antes de por na caixa de leite. Ou seja, se tivesse dentro de um isolante, não teria esquentado tanto.

— Grupo 3: E a gente fez o isolamento sim, só não ficou completo, então é importante sim.

— Grupo 1: É, e o senhor falou naquela aula sobre o isopor no questionário. Penso que se a gente deixasse um isopor com gelo aberto ele ia esquentar mais rápido do que fechado. Então precisa ter.

— Professor: E por qual motivo esquentaria mais rápido?

— Grupo 2: Ai ele iria trocar calor por condução com ar, iria absorver irradiação.

— Professor: Vocês acham que isso interferiu no experimento de vocês?

— Grupo 4: Sim... o meu mesmo a gente não conseguiu fazer uma tampa mais próxima da caixa, ficou um espaço grande, acho que ali perdeu calor por convecção.

— Grupo 2: Mas tem outros fatores também, a gente fez o isolamento certinho com isopor, mas ficou muito remendado, deve ter deixado ar escapar ou entrado. Fora que os fios a gente teve dificuldades, talvez se fosse fios melhores não perdesse tanta energia.

— Grupo 3: E vocês botaram fio de mais, o nosso a gente colocou direto, não botou tanto fio não. E se a gente colocasse algo pra girar também, se calor tá em trânsito, talvez movimentando funcionasse mais. A gente pegou um outro termômetro pra ficar mexendo a água e deu super certo.

A conclusão dos estudantes sobre o procedimento foi interessantíssima, inclusive por estarem pensando no que poderia ser melhorado ao longo da etapa experimental. Ademais, a discussão entre os grupos revelou uma percepção mais aprofundada sobre o papel do isolamento térmico no experimento, com destaque para as dificuldades práticas enfrentadas e as inferências sobre perdas de energia. O Grupo 3 refletiu sobre a escala do isolamento, apontando desafios de replicabilidade em maiores proporções. Já o Grupo 2 reconheceu que, embora o isolamento não tenha sido determinante para o funcionamento do motor, ele contribuiu significativamente para a eficiência do sistema. Os grupos também associaram corretamente diferentes mecanismos de perda de calor, inclusive sabendo rotular sobre qual tipo de mecanismo de propagação se tratava cada parte adotada do aparato experimental.

A discussão também evidencia a percepção de limitações observadas em seus próprios experimentos, demonstrando senso crítico sobre a montagem e os materiais utilizados. Além disso, apontaram melhorias potenciais, como o uso de fios de melhor qualidade e estratégias para movimentar a água e otimizar a transferência de calor, indicando uma articulação entre observação empírica e conceitos físicos. Por fim, a discussão foi concluída pela indagação do professor:

- Professor: O que concluímos com a atividade?
- Grupo 2: Que é importante o isolamento para conservar temperatura, já que tem de trocar de calor constante em tudo que a gente faz.
- Grupo 3: E que dá pra transformar energia térmica em movimento, em energia mecânica.
- Grupo 2: Da pra transformar até em energia elétrica, geralmente a gente vê só o contrário.
- Grupo 4: Isso, mas também que é possível fazer esses processos de geração de energia de maneira caseira, né, sem necessariamente apelar pra algo tipo uma usina.
- Grupo 1: E dá pra ver também tudo isso que a gente estudou sobre calor, porque quando a gente viu temperatura, grau de agitação molecular, calor, apesar de estar no nosso dia a dia a gente não enxerga isso com clareza. Agora dá pra ver como realmente se propaga, porque a gente usa algumas coisinhas em casa, tipo garrafa térmica essas coisas.

As falas dos grupos durante a discussão revelam não apenas o engajamento dos estudantes com o conteúdo, mas também o desenvolvimento de um pensamento investigativo,

característico da abordagem construtivista. A interação entre os estudantes, como no caso da troca de ideias sobre a eficiência do isolamento ou o uso de diferentes tipos de fios, ilustra o processo colaborativo de aprendizagem, no qual os alunos não apenas trocam informações, mas também constroem conjuntamente o conhecimento. Essa busca ativa por respostas e soluções também demonstra a importância do papel do professor, que, ao provocar e guiar as discussões, fomenta a reflexão crítica dos estudantes sobre o processo experimental e suas implicações, estimulando também o uso dos conhecimentos prévios dos estudantes na própria discussão.

5.7 ENCONTRO 5: RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO FINAL

Dos estudantes que participaram da sequência didática, 17 compareceram para a resolução do questionário final via formulário, sendo que apenas o Estudante 2 se ausentou. O Estudante 18, ausente no questionário prévio, estava presente nas atividades de experimentação e desenvolveu junto ao seu grupo o aparato experimental, participando de alguns momentos do debate, e das conclusões obtidas pelo seu grupo acerca da experimentação. Portanto, o Estudante 18 será inserido na análise acerca do questionário final, que foi idêntico ao questionário prévio, com a identificação dos estudantes seguindo o mesmo padrão, ou seja, o Estudante 1 nas tabelas do questionário prévio também é o Estudante 1 nas tabelas do questionário final. O Estudante 2 não apareceu nas tabelas e registros devido à sua ausência na data prevista.

Por fim, seguindo o padrão apresentado na Figura 14, e retirando preposições e outras palavras conectivas, foi possível formar a nuvem de palavras exibida na Figura 30. Essa nuvem refere-se à primeira pergunta do questionário final e à mesma pergunta do questionário prévio, mas agora respondida após a aplicação da sequência didática desenvolvida durante o período mencionado. Além disso, a formação da nuvem está condicionada aos mesmos fatores das nuvens de palavras formadas no questionário prévio, isto é, sem a presença de conectivos, preposições e artigos, assim como removendo a repetição de palavras por um mesmo estudante.

Quadro 8 – Respostas quanto a questão 1 do questionário final

Pergunta: O que você entende como sendo 'energia'?	
Estudante	Resposta
1	Capacidade de movimento
3	A capacidade de alguma partícula de realizar alguma tarefa, como expelir elétrons ou se locomover
4	A capacidade da matéria de realizar alguma coisa (sic)
5	É o movimento molecular
6	Um tipo de trabalho
7	é a capacidade de realizar trabalho ou causar mudanças em sistemas físicos.
8	É a capacidade ou força para realizar um trabalho
9	Capacidade de um corpo a realizar um trabalho
10	Capacidade de gerar movimento
11	Capacidade de realizar um movimento
12	Capacidade de realização de um movimento ou um movimento realizado
13	Seria um movimento ou a capacidade de realizar um movimento de algo ou um objeto
14	É uma força armazenada que é capaz de gerar movimento/uma ação
15	É a agitação das moléculas/elétrons que causa uma "força" e pode fazer algo funcionar. E, justamente por ela não se criar, e sim se transformar, ela pode mudar sua forma de produzir essa "força"; assim como numa usina hidrelétrica, por exemplo, onde a energia potencial gravitacional da água caindo nas turbinas se transforma em energia mecânica, pois é preciso girá-las, e depois se transforma em energia elétrica até chegar nas residências
16	É a capacidade de executar um trabalho.
17	Pra mim, alguma coisa que está em movimento faz energia.
18	Eu sei que a energia serve para gerar algo ou realizar algum trabalho

Fonte: Arquivo do autor (2024).

Diferente de quando o questionário prévio foi aplicado, houve uma evasão do conceito de calor e a confusão com o conceito de temperatura. É interessante observar que o conceito de temperatura, apesar de estar associado a energia, não foi atrelado a energia como uma definição. Sendo assim, a conceituação de energia utilizada pelos estudantes remete a

Antes, os estudantes possuíam dificuldade em dissociar o conceito de energia com a perspectiva dinâmica, porém agora, como grupo, eles demonstram a aptidão de classificarem e caracterizar outras formas de energia.

No Quadro 9, em comparação com o Quadro 6, percebe-se ainda a presença da obtenção da energia por alimentos, que se trata da energia química não abordada pelos estudantes na questão 2. Possivelmente, essa insistência se deve ao fato desse conceito ser construído mais formalmente no componente curricular de química, além de que não foi o foco do produto educacional, que apenas chegou a utilizar diretamente essa forma de energia no teste realizada pelos estudantes com a pilha. Notoriamente, uma outra causa se deve à como a pergunta foi estipulada, remetendo a ideia de “se obter” como algo a ser obtido, utilizado, um detalhe percebido apenas após aplicação do produto. Ainda assim, outras formas de obtenção de energia aparecem, principalmente quanto a possibilidade de geração de energia em larga escala, com menções para as usinas, algo mais escasso anteriormente.

Quadro 9 – Respostas quanto a questão 3 do questionário final

Pergunta: Quais as formas de se obter energia você conhece?	
Estudante	Resposta
1	Comendo
3	Qualquer ação faz o uso e produção de energia.
4	Comendo
5	Cabos de energia
6	solar, pela água (hidroelétrica) pelos ventos (eólicos)
7	Solar, eólica, hidrelétrica, biomassa e etc (sic)
8	Alimentos, combustíveis, placas, baterias etc
9	Energia eólica, hidrelétrica, solar, nuclear, entre outras. (sic)
10	Solar, comendo, etc
11	Comendo, Solar, Termica (sic)
12	através de calorias, energia térmica, solar e mais
13	Se alimentando, energia térmica, energia solar e etc.
14	potencial, cinética, térmica, elétrica, gravitacional
15	Mexendo/chacoalhando/agitando algo (perdão não consegui pensar

	em mais nada, pois tudo o que eu pensava estava relacionado a isso)
16	Solar, Elétrica, Hidráulica, Eólica, Nuclear, etc.
17	Eólica, solar, hidráulica e mecânica
18	Conheço várias como solar, eólica, nuclear...

Fonte: Arquivo do autor (2024).

A habilidade a ser desenvolvida no âmbito da alfabetização científica, conforme defendido por Lorenzetti (2021), está diretamente relacionada à capacidade do estudante de perceber fenômenos sob uma perspectiva mais ampla e formalizá-lo para apenas posteriormente utilizar esse conhecimento de forma autônoma para benefício próprio e da sociedade. Pelo Quadro 10, que propõe a associação entre calor, eletricidade e energia mecânica, em comparação o Quadro 7, os estudantes foram capazes de responder à pergunta e desenvolver mais ideias acerca disso. Anteriormente, 7 estudantes acusaram não saber ou deixaram em branco, contra uma única ocorrência no novo formulário. Graças à sequência didática, foi possível evidenciar a importância da alfabetização científica na formação de indivíduos que se tornam capazes de integrar conhecimentos científicos que, inicialmente, pareciam distintos. No geral, os estudantes associaram os conceitos a ideia de energia apresentada nas últimas questões, associando a capacidade de realizar movimento ou ao movimento propriamente dito, como uma análogo a capacidade de realizar trabalho.

Quadro 10 – Respostas quanto a questão 4 do questionário prévio

Pergunta: Como isso se relaciona com conceitos como calor, eletricidade e energia mecânica?	
Estudante	Resposta
1	A queima de combustíveis que vai a gerar energia.
3	todos eles são um tipo de energia, geradas de diferentes formas
4	É pq tudo isso é uma forma de energia
5	.
6	Pois podemos encontrar todos esses conceitos no nosso dia a dia e que cada um tem um papel determinante.
7	As diversas formas de obtenção de energia estão interconectadas através de processos de conversão de energia, tem como exemplo o calor, onde se usa o calor para gerar diversos tipos de energia.
8	Calor (combustível) - Eletricidade (placas solares) - energia mecânica

	(hidroelétricas)
9	Elas estão diretamente relacionadas, pois todos os processos envolvem uma transformação de uma forma de energia para outra.
10	Calor é a energia entrando, eletricidade é o trânsito de cargas elétricas e a mecânica é capacidade de mover um corpo
11	Calor é a agitação das moléculas, a eletricidade é o trânsito de cargas elétricas e a mecânica é capaz de mover um corpo (sic)
12	calor:energia em movimento, eletricidade:movimentação das cargas elétricas,mecânica:a capacidade da energia de mover um corpo ou transferir energia a outro. (sic)
13	Calor seria a energia em trânsito, a eletricidade seria o trânsito de cargas elétricas e a mecânica seria a energia capaz de mover um corpo ou transferir energia para outro corpo.
14	Todas as formas estão associadas a transformação de energia, incluindo o calor
15	Pois todos estão relacionados ao movimento e agitação: energia térmica consiste na agitação molecular ao se aplicar calor em um corpo; já a eletricidade, é o movimento dos elétrons; e a energia mecânica necessita de movimento, como o impacto, que necessita da velocidade dos corpos para ser calculado
16	Através da transição entre corpos com diferentes temperaturas, e a capacidade de um corpo produzir trabalho.
17	Calor é o fluxo de energia térmica.
18	Pois todos estão relacionados a capacidade de produzir um trabalho

Fonte: Arquivo do autor (2024).

Conforme mencionado anteriormente, como o formulário possuía perguntas de caráter obrigatório, ou seja, era necessário que o estudante digitasse algo, alguns estudantes registraram um ponto ou um travessão para conseguir pular para próxima questão, como o caso do Estudante 5. Na questão 5 “De que forma o calor se propaga entre os corpos?” 14 estudantes apontaram os conceitos de condução, convecção e irradiação como processos envolvidos na troca de calor, enquanto os demais mencionaram apenas o fluxo de calor do corpo mais quente para o mais frio. No entanto, apenas dois estudantes forneceram uma

explicação detalhada desses processos. Embora a questão solicitasse apenas a identificação dos conceitos, e não uma explicação, é importante destacar que, no questionário prévio, as respostas seguiram uma abordagem mais instrucionista e objetiva. Quando analisadas isoladamente, respostas desse tipo podem não evidenciar uma ruptura clara desse paradigma. Contudo, observa-se que os estudantes, agora, são capazes de classificar adequadamente os conceitos, e, ao comparar suas respostas em outras questões do questionário, fica evidente uma evolução no entendimento e na capacidade de elaborar as respostas de forma mais aprofundada. Esse desenvolvimento da capacidade argumentativa é defendido por Carvalho (2017, p. 46):

A habilidade de levar os alunos a argumentar é a principal nesse contexto de ensino, pois é pela exposição argumentativa de suas ideias que os alunos constroem as explicações dos fenômenos estudados e desenvolvem o pensamento operacional.

Já a questão 6 “O que você entende como sendo uma máquina térmica?”, conforme citado quanto ao questionário prévio, visa mapear o conhecimento dos estudantes acerca das máquinas térmicas, de forma que as respostas foram categorizadas da seguinte forma:

- Um estudante afirmou que não sabe;
- Um estudante afirmou ser uma máquina que utiliza energia térmica;
- Dois estudantes mencionaram ser uma máquina para propagar o calor;
- Três estudantes afirmaram ser uma máquina que produz ou utiliza calor;
- Onze estudantes afirmaram, explicitamente, que são máquinas capazes de converter energia térmica ou calor em energia mecânica ou trabalho;

Apesar da Termodinâmica não ser formalmente apresentada, devido ao quantitativo de aulas e ao foco do produto educacional na propagação de calor, é importante compreender que os estudantes já possuem uma noção do que seria uma máquina térmica. Além disso, a utilização de um reservatório quente e outro frio para explicar conceitos de eficiência na termodinâmica se encaixam perfeitamente com o aparato experimental construído, permitindo aos estudantes observarem com aspectos práticos esse quesito. Dessa forma, a expectativa anterior foi atendida, seguindo o construcionismo, de que o estudante pudesse entender o funcionamento de forma prática, minimizando as abstrações e esquemas.

Seguindo essa linha, a questão 7 apresenta uma formalização maior de conceitos físicos ao justificar o funcionamento das usinas heliotérmicas. Como exemplo, abaixo, segue o comparativo de resposta do Estudante 3, comparando o questionário prévio e o final:

- Questionário prévio: A partir do calor do sol
- Questionário final: O sol, via irradiação, transmite energia para a água, que aquece o suficiente para se transformar em vapor, que roda a turbina ao se condensar. A turbina roda, gerando energia elétrica.

Apesar de não demonstrar com clareza conhecimento acerca de como a energia elétrica é gerada, o estudante foi capaz de mencionar, inclusive, o processo de propagação de calor envolvido na usina. Esse processo de estruturação da argumentação científica é apresentado por outros estudantes, como o estudante 10:

- Questionário prévio: O sol bate, gera vapor, vai para a turbina ou é condensado e passa para o gerador
- Questionário final: A energia solar aquece a água presente, gerando vapor e movimentando uma turbina e a partir da energia mecânica gerada por essa turbina a energia elétrica é gerada.

O Estudante 1, um dos estudantes que mencionaram que não sabia como o processo de geração de energia era realizado, apresentou uma resposta consistente a pergunta: “A energia solar capturada pelos painéis é transformada em vapor, que faz com que seja transformada em energia mecânica pelo gerador, fazendo com que haja energia”.

Por fim, finalizando as questões abertas, a questão 8 apresenta os componentes utilizados no aparato. A tabela 5 mostra o desenvolvimento dos estudantes nas respostas.

Tabela 5 – Respostas quanto a questão 8 do questionário final

Pergunta: Nas imagens abaixo, quais componentes você conhece? Você sabe suas funcionalidades?			
Numeração	Componente	Acertaram o que é o componente	Acertaram sua funcionalidade
1	Peltier	10	5
2	Motor vibracall	15	8
3	Fios	18	8

Fonte: Arquivo do autor (2024).

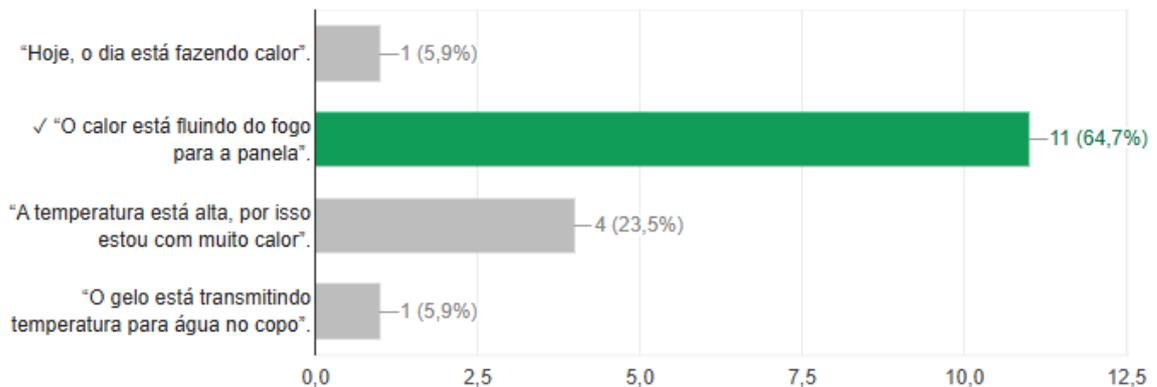
Diferente da Tabela 3, que os estudantes não souberam o que seria o componente Peltier e o motor vibracall, houve uma grande quantidade de acertos. Quanto a sua funcionalidade, os estudantes ainda tiveram dificuldade de generalizar o uso de cada

componente, associando apenas ao seu uso na máquina. Vale salientar que quase metade dos estudantes apenas mencionaram o que era o componente, não escrevendo a funcionalidade. É impreciso dizer se faltou ênfase a pergunta ou se o estudante apresentou dificuldades para responder o que havia sido solicitado.

Seguindo as questões fechadas, a Figura 32 representa o desempenho dos estudantes quanto as respostas da pergunta 9, presente na Figura. No questionário prévio, boa parte dos estudantes já haviam acertado a pergunta mais precisamente falando, 65 % de acertos. Para o questionário final, esse número apresentou uma melhora, de forma que 72% dos estudantes foram capazes de acertar.

Figura 32 – Gráfico para a pergunta 9 (pergunta fechada) do questionário final
No senso comum, as grandezas físicas calor e temperatura geralmente são interpretadas de forma equivocada. Diante disso, a linguagem científica está corretamente empregada em

11 / 17 respostas corretas

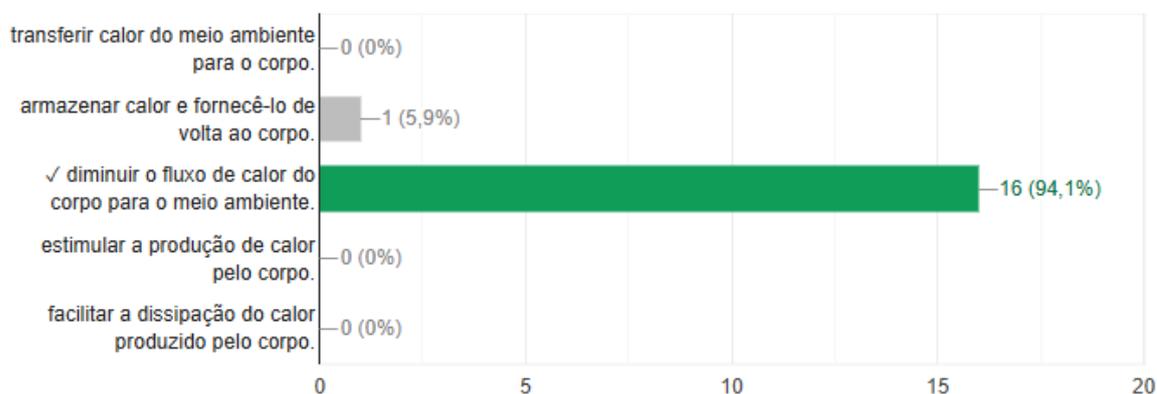


Fonte: Arquivo do autor (2024).

Já na Figura 33, é possível notar uma grande evolução por parte dos estudantes, já que anteriormente 13 estudantes dos 17 associaram as roupas a função de “armazenar calor”, conforme registrado no questionário prévio. Dessa vez, pela Figura 33, é possível notar que apenas 1 estudante errou quanto a função das roupas, enquanto os demais associaram corretamente a ideia de reduzir o fluxo de calor para o meio ambiente.

Figura 33 – Gráfico para a pergunta 10 (pergunta fechada) do questionário final
 A exposição do corpo humano a baixas temperaturas pode causar danos à saúde. Por esse motivo, surfistas utilizam roupas especiais quando praticam seu esporte em águas muito frias. A função dessas roupas é

16 / 17 respostas corretas



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Por último, na pergunta 11 “A figura mostra um isolamento feito para conservar alguns alimentos em seu interior, utilizando caixa de isopor e papel de alumínio. Explique como funciona o isolamento realizado pelo material.”, os estudantes apresentaram respostas confusas anteriormente, como a ideia de “conservar o frio”, de que o isolamento iria esquentar o material em seu interior, e outras concepções associadas ao senso comum. Dessa vez, 16 estudantes foram capazes de responder a função do isolamento, assim como mencionar corretamente o processo de propagação de calor envolvido. Isso mostra o potencial de aprendizagem do ensino investigativo em uma prática de laboratório aberto, aprendendo na prática como esses processos influenciam na temperatura de um objeto, e expandindo isso para outros conceitos e aplicações.

5.8 DIFICULDADES E POSSIBILIDADES

Uma das principais dificuldades encontradas na aplicação do produto educacional e execução do SEI foi a administração do calendário escolar, em principal devido ao número de eventos da escola. Evidentemente, sugerir a SEI como uma proposta de atividade extracurricular impactaria em seus resultados, já que o objetivo é averiguar a aprendizagem utilizando um objeto de conhecimento que compõe o componente curricular dos estudantes em Física. Outra dificuldade foi a de obter água quente e fria para os reservatórios, já que

havia dificuldade de manter a temperatura dessas duas fontes. Nesse caso, uma possibilidade é que o professor leve para aquecer a água um ebulidor portátil, uma chaleira elétrica ou até mesmo uma cafeteira, porém é imprescindível o uso ser supervisionado pelo professor, já que ambos são dispositivos que podem causar queimaduras, em principal para o ebulidor elétrico, em que algum estudante pode esquecer ligado. Para a água fria, uma possibilidade é o uso de uma solução de gelo, água, álcool e sal em algum recipiente isolante, o que permitiria uma temperatura de operação mais baixa no reservatório frio. Além disso, é possível checar a viabilidade de transferir essa parte para os próprios estudantes, verificando quais alternativas eles poderiam dar para obter um reservatório como fonte quente e outro como reservatório frio, porém essa proposta pode acarretar em mais tempo para atividade, não apenas pela discussão necessária, como também pela impossibilidade dos estudantes armazenarem corretamente o material a ser utilizado, necessitando de mais tempo para discussão e para se preparem para uso do material.

Ademais, como os estudantes ainda não possuem prática laboratorial, alguns erros aconteceram nas medições, como o fato de os estudantes não aguardarem o termômetro entrar em equilíbrio térmico para iniciar as medições. Como o motor não gira de imediato, demorando alguns segundos até iniciar seu movimento, nesse tempo foi possível instruir os estudantes a como realizar a medição da temperatura. Outra problemática reside na impossibilidade do uso de materiais reaproveitados, como a placa de isopor. Apesar da escola já possuir esse material, pode ser uma cultura que não esteja presente em muitos ambientes escolares, e, portanto, é interessante o professor avaliar a possibilidade de realizar a experimentação com outro isolante ou até mesmo sem seu uso. Porém, é contornável em termos de aplicação com o auxílio do professor, já que durante a experimentação forneceu a placa Peltier, motor e termômetros, seria possível gerenciar junto aos estudantes esses equipamentos também.

Por fim, o experimento atesta não somente a propagação de calor entre as fontes, como também trabalha esse objeto de conhecimento a luz de uma atividade prática que pretende isolar o aparato das trocas de calor com o ambiente externo. Porém, além da temática de propagação de calor, a experimentação mostrou-se efetiva para formalizar e dar robustez ao conhecimento acerca de energia e sua transformação, podendo ser utilizada, por exemplo, para administrar a Primeira Lei da Termodinâmica como objeto de conhecimento. Além disso, a forma como essa máquina é concebida se assemelha a representação de máquina térmica usual em livros didáticos, o que facilita a explicação da Segunda Lei da Termodinâmica, que possui foco, também, em máquinas térmicas.

Não apenas em termologia e termodinâmica, mas a experimentação contribui para introduzir os estudantes a circuitos elétricos e seu funcionamento. O professor pode, inclusive, inserir medidores de tensão e corrente para abordar eletrodinâmica como objeto de conhecimento utilizado esse mesmo aparato experimental. Com efeito, a placa se baseia no uso de semicondutores, que apesar de ter sido omitido nessa SEI, se baseiam em princípios quânticos que também podem ser trabalhos ou retomados posteriormente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa visou explorar uma sequência didática baseada na confecção de uma máquina térmica utilizando o efeito Seebeck para o ensino de propagação de calor e termodinâmica no Ensino Médio, com ênfase na aprendizagem significativa e na alfabetização científica dos estudantes. No decorrer do trabalho, foi possível identificar que a sequência didática proposta contribuiu de maneira significativa para o desenvolvimento do pensamento crítico e do protagonismo dos estudantes, alinhando-se às teorias de aprendizagem construcionista de Papert e ao ensino investigativo defendido por Carvalho (2013). A interação dos estudantes com os conceitos de calor, temperatura, energia e suas formas e transformações, energia térmica e suas formas de propagação, assim como sua utilização para realização de trabalho mecânico, mostrou-se eficaz não apenas na compreensão teórica, mas também na aplicação prática desses conhecimentos, como evidenciado pela construção e operação da máquina térmica. Esses resultados também reforçam a importância de um ensino contextualizado, que integra o cotidiano dos estudantes às abordagens teóricas.

Entre os principais desafios observados, destaca-se a dificuldade que os estudantes têm em conceituar e formalizar noções como energia e calor, bem como em compreender seus modos de propagação. Contudo, a implementação da proposta investigativa (SEI), por meio da construção do aparato experimental e das discussões em sala de aula, permitiu o desenvolvimento de habilidades, a construção de saberes e a promoção da alfabetização científica. Ademais, é notória a contribuição da sequência didática estipulada no produto educacional para estimular competências ligadas à investigação científica — por exemplo, a formulação de hipóteses, a coleta e a análise de dados experimentais e a abstração teórica.

Apesar dos resultados positivos, algumas limitações merecem destaque. O tempo de execução da sequência didática foi superior ao inicialmente planejado, o que impactou a dinâmica escolar em outros componentes curriculares. Além disso, a aquisição de alguns materiais necessários para a confecção do aparato experimental representou um desafio financeiro e logístico. Esses aspectos reforçam a necessidade de ajustes futuros na implementação da proposta, como a utilização de materiais alternativos e a redistribuição do cronograma.

Com efeito, o produto educacional serve como demonstração de que é possível promover a alfabetização científica e o aprendizado significativo em contextos reais de ensino, integrando teoria e prática ao fornecer liberdade para que o próprio estudante

desenvolva sua aprendizagem, trazendo o protagonismo para o próprio estudante. Para o ensino de termologia e termodinâmica, a demonstração das formas de propagação de calor em um contexto real, assim como o fato de que a energia térmica pode ser convertida em outras formas de energia, como demonstra a Primeira Lei da Termodinâmica, trazem consigo o potencial da SEI para o ensino desses componentes.

Por fim, reafirma-se a relevância desta dissertação no campo do ensino de física, contribuindo para a ampliação do repertório pedagógico e para a formação de estudantes mais autônomos, críticos e capacitados a compreender os fenômenos físicos sob uma perspectiva científica e cidadã. As abordagens adotadas servem como modelo para repensar o ensino de ciências, propondo caminhos mais interativos, inclusivos e significativos.

REFERÊNCIAS

- BRANDO, Filippo. Mulinello di Joule. Disponível em: <https://ingbrando.altervista.org/mulinello-di-joule/>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. Brasília, 2017a. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=79611-anexo-texto-bncc-aprovado-em-15-12-17-pdf&category_slug=dezembro-2017-pdf&Itemid=3019. Acesso em: 20 de out. 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base (Ensino Médio). Brasília, 2017b. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/abril-2018-pdf/85121-bncc-ensino-medio/file>. Acesso em: 20 de out. 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Nota sobre o Brasil no PISA 2022**. Brasília, 2023. Disponível em: https://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/resultados/2022/pisa_2022_brazil prt.pdf. Acesso em: 20 out. 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ensino Médio. Brasília, 2000. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>. Acesso em: 13 de ago. 2024.
- BUCUSSI, Alessandro Aquino. Introdução ao conceito de energia. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, v. 17, n. 3, 2006. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n3_Bucussi.pdf. Acesso em: 30 mar. 2024.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa. (Org.). **Calor e temperatura**: um ensino por investigação. São Paulo: Livraria da Física, 2014.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa. **Os estágios nos cursos de licenciatura**, 1 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa. **Ensino de Ciências por Investigação**: Condições de implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- COUTO, Marlen. FH, Lula, Dilma, Temer e Bolsonaro: veja as notas do Brasil no Pisa durante os governos de cada presidente. **Globo**, Rio de Janeiro, 05 dez. 2023. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/educacao/noticia/2023/12/05/fh-lula-dilma-temer-e-bolsonaro-veja-as-notas-do-brasil-no-pisa-durante-os-governos-de-cada-presidente.ghtml>. Acesso em: 20 out. 2024.
- COX, Brian. **O Universo quântico**: tudo que pode acontecer realmente acontece. 1. ed. - São Paulo, SP: Editora Fundamento Educacional Ltda., 2016.
- CYSNEIROS, Paulo Gileno. PAPERT, Seymour. A Máquina Das Crianças: Repensando a Escola Na Era Da Informática. **Revista entre ideias: educação, cultura e sociedade** (2008).

DOMINGUINI, Lucas; VAQUERO, Ronnie Alexandre Moreira. Diagnóstico sobre a falta de motivação dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem de Ciências Naturais em uma escola pública. **Criar Educação: Revista do Programa de Pós-Graduação em Educação – UNESCO**, Criciúma, v. 3, n. 2, p. 1–14, 27 nov. 2014. Disponível em: <https://periodicos.unesc.net/ojs/index.php/criaredu/article/view/1732>. Acesso em: 20 maio 2024.

FEYNMAN, Richard Phillips. **Deve ser brincadeira, Sr. Feynman!**. Brasília, DF: Ed. UnB, São Paulo, SP: Imprensa Oficial do Estado, 2000. 391 p. ISBN 8523005692.

FINO, Carlos. **Dewey, Papert, construcionismo e currículo**. In: (Contra) tempos de educação e democracia, evocando John Dewey/ org. Carlos Nogueira Fino, Jesus Maria Sousa. - CIE-UMa - Funchal: Centro de Investigação em Educação, 2017.

FREIRE, Paulo Regulus Neves. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 2002.

FREIRE, Paulo Regulus Neves. **Pedagogia do Oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2017

HALLIDAY, David. RESNICK, Robert. WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física**. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 2.

INEP – INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS ANÍSIO TEIXEIRA (Brasil). **Matriz de referência Enem**. Brasília, 2012. 79 p. Disponível em: https://download.inep.gov.br/download/enem/matriz_referencia.pdf. Acesso em: 10 ago. 2024.

KUBOV, Vladimir. I.; DMYTROV, Y. Y.; KUBOVA, R. M. **LTspice-model of Thermoelectric Peltier-Seebeck Element**. [S.l.: s.n.], 2016. Presentation. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1372.2002>. Acesso em: 10 maio 2025.

LINO, Alex. **O desenvolvimento histórico do conceito de energia: seus obstáculos epistemológicos e suas influências para o ensino de física**. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA, 16., 2018, Campina Grande: UFCG/UEPB, 2018.

LORENZETTI, Leonir. A alfabetização científica e tecnológica: pressupostos, promoção e avaliação na Educação em Ciências. In: MILARÉ, Tathiane. *et al.* **Alfabetização Científica e Tecnológica na Educação em Ciências. Fundamentos e Práticas**. 1. Ed. São Paulo: Livraria da Física, 2021. p. 47-71.

MEDEIROS, Michele Dayane Facioli. **Indicadores de alfabetização científica em uma aula experimental investigativa sobre fotossíntese e respiração celular para o sétimo ano do ensino fundamental**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81133/tde-29032017-170142/>. Acesso em: 27 out. 2024.

MEDEIROS, Alexandre. A atualidade pedagógica da controvérsia histórica sobre a verdadeira definição da “força de um corpo”. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 3, n. 1, jun. 2001.

- MORÁN, José. **Mudando a educação com metodologias ativas**. Ponta Grossa: UEPG/PROEX, 2015. Disponível em: https://moran.eca.usp.br/wp-content/uploads/2013/12/mudando_moran.pdf. Acesso em: 20 out. 2024.
- MOREIRA, Marco. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v.1(3), p. 25-46, 2011. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>. Acesso em: 21 de fev. 2024.
- MOURA, Paulo Roberto de; ALMEIDA, Danilo. **Refrigerador termoelétrico de Peltier usado para estabilizar um feixe laser em experimentos didáticos**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, p. 1–5, mar. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000100008>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- MOURÃO, Matheus Fernandes; SALES, Gilvandenys Leite. O uso do ensino por investigação como ferramenta didático-pedagógica no ensino de Física. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 5, 2018. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/113>. Acesso em: 14 mai. 2024.
- MUNDO PROJETADO. Efeito Peltier e Seebeck. Disponível em: <https://mundoprojetado.com.br/efeito-peltier-e-seebeck/>. Acesso em: 2 mai. 2025.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica 2: fluidos, oscilações, ondas e calor**. 4ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002.
- PAPERT, Seymour. **A máquina das crianças: Repensando a Escola na era da Informática**. Porto Alegre: Artmed Editora, 1993.
- PAPERT, Seymour. **Situating Constructionism**. In: Harel (Ed.), Constructionist learning, 1991. Cambridge, MA: MIT Media Laboratory. Disponível em: <http://www.papert.org/articles/SituatingConstructionism.html>. Acesso em: 11 dez. 2022
- PIAGET, Jean. **Fazer e compreender**. São Paulo: Melhoramentos/Edusp, 1978.
- SAGAN, Carl. **O mundo assombrado pelos demônios**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.
- SANTOS, Betânia. SANTOS, Maria. SILVA, Normilza. **Construcionismo e inovação pedagógica**. Revista Imersão: Capim Grosso – BA. V. 1, n.1, p. 58 – 66. Jul. 2020. Disponível em: <http://www.fcgba.com.br/revista/index.php/1/article/view/2/8>. Acesso em 04 dez. 2022.
- SANTOS, Boaventura. **Para uma sociologia das ausências e uma sociologia das emergências**. Revista Crítica de Ciências Sociais, p. 237-280, 2002.
- SECRETARIA DE EDUCAÇÃO DE PERNAMBUCO. Currículo de Pernambuco do Ensino Médio. Pernambuco, 2021. Disponível em: https://portal.educacao.pe.gov.br/wpcontent/uploads/2023/11/CURRICULO_DE_PERNAMBUCO_DO_ENSINO-MEDIO2021_Final.pdf. Acesso em: 20 de jul. 2024.

SILVA, Geilson Rodrigues. ERROBIDART, Nádia. **A produção científica nacional em periódicos sobre o ensino de termodinâmica**. Revista Prática Docente, v. 4, n. 2, p. 559–577, 2019. Disponível em: <https://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/rpd/article/view/520>. Acesso em: 20 out. 2024.

SOFFNER, Renato Kraide. **Seymour Papert, computadores e educação: uma revisão retrospectiva e propositiva**. v. 10 n. 01, 2022: Revista Tecnológica da Fatec Americana. Disponível em: <https://www.fatec.edu.br/revista/index.php/RTecFatecAM/article/view/322>. Acesso em: 26 out. 2024.

TIC EDUCAÇÃO – 2021. Escolas Urbanas. **Cetic.br**, 2021. Disponível em: https://www.cetic.br/media/docs/publicacoes/2/20221121124500/resumo_executivo_tic_educacao_2021.pdf. Acesso em: 01 dez. 2022.

TRITT, Terry M. Thermoelectric Materials: Principles, Structure, Properties, and Applications. In: BUSCHOW, K.H.; CAHN, R.W.; FLEMINGS, M.C.; ILSCHNER, B.; KRAMER, E.J.; MAHAJAN, S.; VEYSSIERE, P. (Ed.). *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. Oxford: Elsevier, 2002. p. 1–11. DOI: [10.1016/B0-08-043152-6/01822-2](https://doi.org/10.1016/B0-08-043152-6/01822-2).

TIPLER, Paul.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v.1.

VASCONCELOS, Thalita. Após termômetros marcarem 8°C de manhã, DF terá calor de 31°C à tarde. **Metrópoles**, 12 ago. 2024. Disponível em: <https://www.metropoles.com/distrito-federal/apos-termometros-marcarem-8oc-de-manha-df-tera-calor-de-31c-a-tarde>. Acesso em: 20 set. 2024.

VIEIRA, Deivid Pedroso; RIZATKI, Jorge Ricardo. **Utilização do efeito Seebeck para recuperação de energia em motores de combustão interna**. *Revista Vincci - Periódico Científico da Faculdade SATC*, v. 3, n. 1, p. 224-241, jan./jul. 2018. Disponível em: <https://revistavincci.satc.edu.br/index.php/Revista-Vincci/article/view/123>. Acesso em: 28 mai. 2025.

VYGOTSKY, Lev. **A formação social da mente**. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1934/1991.

ZHOU, J.; SUN, Q.; ZHOU, M.; JIAO, H. **Understanding the thermoelectric properties of p-type Bi₂Te₃ nanocomposites**. *Nature Communications*, [S.l.], v. 5, p. 5598, 2014. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ncomms5598>. Acesso em: 10 maio 2025.

ANEXOS

ANEXO A – Tabela de habilidades das competências, 1, 2 e 3 da BNCC a serem desenvolvidas

Competência	Habilidade	Descrição
1	EM13CNT101	Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.
	EM13CNT102	Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.
	EM13CNT106	Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais
	EM13CNT107	Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para

		propor ações que visem a sustentabilidade
--	--	---

Competência	Habilidade	Descrição
2	EM13CNT205	Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.

Competência	Habilidade	Descrição
3	EM13CNT307	Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano
	EM13CNT308	Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais

**APÊNDICE A – O PRODUTO EDUCACIONAL: SEQUÊNCIA
DIDÁTICA PARA O ENSINO DE CALORIMETRIA E
TERMODINÂMICA UTILIZANDO O EFEITO SEEBECK EM UM
MOTOR TÉRMICO**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 58

AUDÊNIO VINÍCIUS BARBOSA DA LUZ

**SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE CALORIMETRIA E
TERMODINÂMICA UTILIZANDO O EFEITO SEEBECK EM UM MOTOR
TÉRMICO**

RECIFE

2025

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	97
A.1 SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA	98
A.2 APARATO EXPERIMENTAL	100
A.3 DESENVOLVIMENTO	106
1º Momento: Aplicação do questionário prévio	106
2º Momento: Introdução teórica a propagação de calor	108
3º Momento: Propagação de calor e Termodinâmica – Confeção da máquina de Seebeck	109
4º Momento: Finalização da atividade e questionário final	109
A.4 CONCLUSÕES	110
A.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXO A – Tabela de habilidades das competências, 1, 2 e 3 da BNCC a serem desenvolvidas	114

APRESENTAÇÃO

Este produto educacional tem como objetivo de fornecer ao professor do Ensino Básico uma alternativa de atividade experimental para o ensino das formas de propagação de calor e/ou para as Leis da Termodinâmica, centrada no conteúdo curricular presente na segunda série do ensino médio. A proposta se baseia na construção de uma máquina térmica, utilizando o efeito Seebeck, que permitirá aos estudantes explorarem, de maneira prática e investigativa, os conceitos de conversão de energia térmica em energia elétrica, e posteriormente em energia mecânica. Nessa sequência didática utiliza-se o ensino investigativo, fundamentado no construcionismo de Papert, para fornecer protagonismo estudantil ao longo do processo, fazendo com que o estudante possa implementar hipóteses previamente discutidas e testá-las na prática, sem a presença de um roteiro pré-estabelecido, diferenciando das práticas experimentais tradicionais.

Trata-se de uma produção de baixo custo, em que boa parte dos materiais será estabelecido pelo próprio estudante, junto a tutoria do professor. É importante mencionar que a atividade dispensa a necessidade de um ambiente laboratorial, podendo ser feita na própria sala de aula com seus devidos ajustes.

O pressuposto teórico utiliza a concepção de Papert, pois Papert (1993) em sua teoria, crítica a aprendizagem tradicional baseada em instruções, em que não há necessidade de autonomia e estímulos cognitivos. Essa carência reflete a necessidade de mudança na educação de ciências, que para Papert, um dos mecanismos para que o aluno passe a ter protagonismo e estar mais próximo de situações complexas sem respondê-las de maneira mecânica é fornecer materiais e dispositivos que possam permitir o erro, conforme o pensamento de Dewey, retirando restrições que diminuam a sua iniciativa. (FINO, 2017)

A.1 SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVA

Anna Maria Pessoa de Carvalho (2013) propõe a utilização das Sequências de Ensino Investigativas (SEIs) para o ensino investigativo, propondo nessas sequências atividades e interações didáticas pré-definidas, visando a introdução de um problema para os alunos que envolva o assunto a ser trabalhado, mas de forma que os estudantes possam discutir as variáveis envolvidas no processo e estabeleçam hipóteses de resolução dentro do contexto. Essa sintaxe como proposta para o produto educacional, esta apresentada na tabela A.1.

Tabela A.1 – SEI investigativa

Quantidade de Aulas	Conteúdo	Atividade	Observações
1		Aplicação do Questionário Prévio	
2	Introdução teórica a propagação de Calor	Esclarecimentos quanto ao questionário prévio e resgate de conhecimentos prévios através de discussão ou debate	Retomar conceitos como temperatura e calor, buscando conhecimentos prévios dos estudantes. Utilizar recursos visuais do questionário prévio. Iniciar proposta de construção da máquina térmica e discutir com os estudantes os materiais a serem utilizados.
2 - 4	Propagação de calor e Termodinâmica	Atividade laboratorial de construção da máquina de Seebeck	Verificar se os materiais trazidos pelos estudantes tornam fisicamente viável a construção da máquina. Levar materiais extras para evitar imprevistos. Permitir que os estudantes explorem a tentativa e erro na confecção da máquina, fornecendo graus de liberdade.
2	Finalização e questionário final		Realizar testes com a máquina: conversão de energia térmica em mecânica, tentar levantar pesos etc. Retomar discussão sobre a propagação de calor. Discussão dos erros, possíveis perdas de energia e como otimizar.

			Provocar a discussão quanto a geração de energia em larga escala.
--	--	--	---

Fonte: Arquivo do autor (2024).

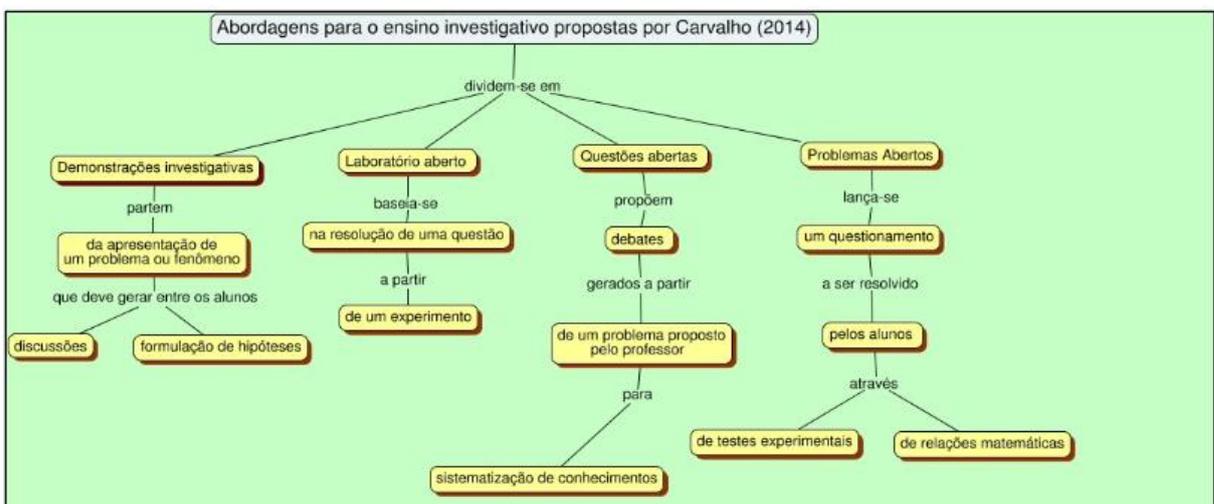
A sequência está fundamentada na teoria construcionista de Seymour Papert, que em sua teoria, crítica a aprendizagem tradicional baseada em instruções, indicando que a criança não será capaz de responder a desafios do cotidiano caso seja estimulada apenas a respostas reativas, em que não há necessidade de autonomia e estímulos cognitivos.

Essa fundamentação deve estar bem delineada pelo professor na aplicação do produto, pois isso retira, por exemplo, o uso de roteiro para experimentação, já que partirá dos estudantes alguns materiais a serem utilizados e como será feita a confecção. Nessa perspectiva, o construcionismo está associado ao ensino investigativo, já que, segundo Carvalho (2013, p. 2):

No ensino expositivo toda a linha de raciocínio está com o professor, o aluno só segue e procura entendê-la, mas não é o agente do pensamento. Ao fazer uma questão, ao propor um problema, o professor passa a tarefa de raciocinar para o aluno e sua ação não é mais a de expor, mas de orientar e encaminhar as reflexões dos estudantes na construção do novo conhecimento. (CARVALHO, 2013, p. 2)

Sendo assim, a aplicação da SEI envolve abordagens precisas para que toda sua potencialidade seja alcançada. As abordagens para o ensino investigativo, propostas por Carvalho (2014) estão presente na Figura A.1.

Figura A.1 – Mapa conceitual de abordagens investigativas



Fonte: Mourão e Sales (2018).

Em todas as abordagens, o professor deverá incentivar o estudante a realizar discussão, provocando através de perguntas ou outros métodos para que a resposta possa vir do próprio estudante, e não do docente.

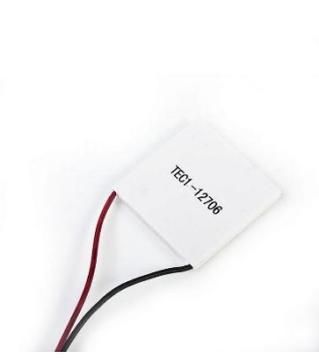
Importante ter em mente que, apesar da SEI mencionada focar na propagação de calor, o experimento atesta também a energia e sua conservação, podendo ser utilizada, por exemplo, para administrar a Primeira Lei da Termodinâmica como objeto de conhecimento. Além disso, a forma como essa máquina é concebida se assemelha a representação de máquina térmica usual em livros didáticos, o que facilita a explicação da Segunda Lei da Termodinâmica, que possui foco, também, em máquinas térmicas.

Não apenas em terminologia e termodinâmica, mas a experimentação contribui para introduzir os estudantes a circuitos elétricos e seu funcionamento. O professor pode, inclusive, inserir medidores de tensão e corrente para abordar eletrodinâmica como objeto de conhecimento utilizado esse mesmo aparato experimental. Com efeito, a placa se baseia no uso de semicondutores, que apesar de ter sido omitido nessa SEI, se baseiam em princípios quânticos que também podem ser trabalhos ou retomados posteriormente.

A.2 APARATO EXPERIMENTAL

O cerne do produto educacional está na confecção de uma máquina térmica, baseada no efeito Seebeck. Para isso, alguns materiais são essenciais e são responsabilidade do professor. A Tabela A.2 representa os materiais essenciais, com custo médio com base no ano de 2024.

Tabela A.2 – Materiais essenciais para confecção da máquina de Seebeck

Imagem	Material	Função e características	Custo médio por unidade
	<p>Pastilha Termoelétrica Peltier (Modelo TEC1 – 12706)</p>	<p>Converter energia térmica em elétrica e vice versa</p> <p>$V_{\text{máx}} = 16 \text{ V}$</p> <p>$I_{\text{máx}} = 6,1 \text{ mA}$</p> <p>$\Delta T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$</p>	<p>R\$ 25,00</p>

	<p style="text-align: center;">Micro Motor Vibracall</p>	<p style="text-align: center;">Demonstrar e caracterizar a conversão de energia elétrica/térmica em energia mecânica.</p> <p style="text-align: center;">$V_{\min} = 1,5 \text{ V}$ $V_{\max} = 3,0 \text{ V}$ $I_{\min} = 20 \text{ mA}$ $I_{\max} = 50 \text{ mA}$</p>	<p style="text-align: center;">R\$ 17,00</p>
---	--	--	--

Fonte: Arquivo do autor (2024)

A placa Peltier apresentada na Tabela é um dispositivo termoelétrico que utiliza o efeito Peltier para criar uma diferença de temperatura. É composta por vários pares de semicondutores tipo conectados eletricamente em série e termicamente em paralelo. Essa placa está presente em equipamentos como refrigeradores portáteis, bebedouros elétricos e dispositivos de refrigeração, podendo ser sucateada através deles.

O efeito Seebeck, que será utilizado na placa, é o fenômeno inverso ao efeito Peltier. Ele ocorre quando duas junções compostas por materiais condutores ou semicondutores diferentes são expostas a temperaturas distintas, o que gera uma diferença de potencial elétrico (ou tensão) entre essas junções. Esse deslocamento ocorre porque os elétrons tendem a se mover para regiões com menor energia térmica. Se os materiais forem conectados por meio de um circuito elétrico, a diferença de potencial gerada faz com que uma corrente contínua percorra o circuito.

Além da placa e do motor, descritos na tabela, a máquina deverá contar com um material que servirá como reservatório para água quente e água fria, que deverá ser sugerido pelos estudantes sob guia do professor. Como a placa apresenta uma seção transversal retangular e faces planas, é importante que o material utilizado se adeque a esse formato, portanto latas retangulares, como de azeite e fiambre, caixas de leite de tetrapak são boas alternativas, testadas previamente, inclusive, funcionando perfeitamente.

O motor vibracall será utilizado para demonstrar de maneira prática e visível a conversão de energia térmica em energia mecânica. No experimento, a placa Peltier TEC 12706 será exposta a uma diferença de temperatura, gerando uma diferença de potencial por meio do efeito Seebeck. Vale ressaltar que existem diversos modelos de placas Peltier no

mercado, mas o modelo TEC 12706, além de ser amplamente utilizado, apresenta um custo mais acessível em comparação com outras opções. Assim, a utilização de modelos alternativos, como placas de equipamentos obsoletos ou sucateados, é viável, desde que sejam adequadamente dimensionadas para o contexto do experimento.

A utilização da placa Peltier, nesse caso, possui algumas motivações: em primeiro lugar, o seu baixo custo em relação a outros materiais como coolers e kits completos de refrigeradores. Em segundo, a facilidade de uso, pois a placa já vem com a fiação exposta, pronta para ser fixada em determinada região e conectada ao motor. Ao comparar com um experimento, como o caso do experimento de Joule, há uma série de fatores e medições com ajustes finos necessários para verificar a conversão de energia, porém com o auxílio da placa Peltier será possível observar isso sem introduzir os estudantes a dinâmica de laboratório de física aprofundado, que não seria possível devido ao dimensionamento de aulas previsto na SEI.

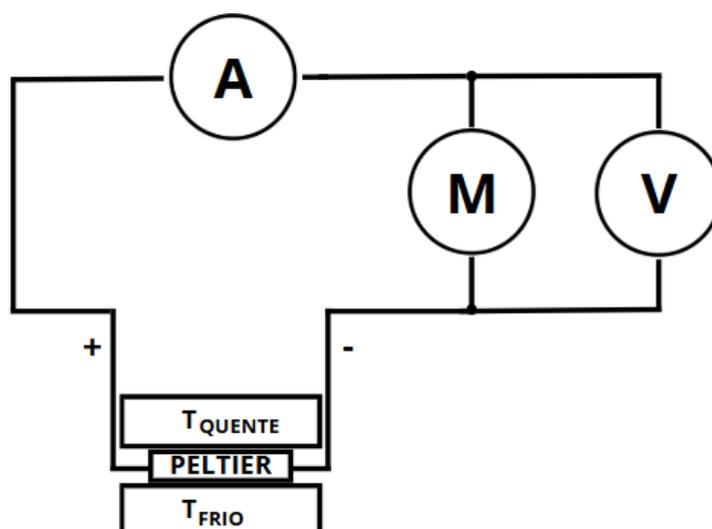
A escolha do motor vibracall de celular, por sua vez, se justifica pela sua facilidade de obtenção, especialmente em equipamentos de sucata, e pelo seu custo reduzido. Outra vantagem é que sua tensão mínima é inferior à de motores utilizados em robótica, o que é uma característica importante para este tipo de experimento. Isso ocorre porque a diferença de temperatura gerada, com base na obtenção de água a alta temperatura e conservação da água congelada, pode não ser ideal para acionar motores mais potentes.

Por fim, a Figura A.2 representa, de maneira esquemática, o circuito utilizado para obtenção do efeito Seebeck na máquina térmica. O amperímetro e o voltímetro são importantes para caracterização prévia antes da aplicação, porém são opcionais a depender do objeto de conhecimento a ser trabalhado pelo professor. Uma orientação importante é que na placa Peltier TEC1-12706, existe uma orientação correta para o lado quente e o lado frio:

Lado Frio: É o lado que normalmente possui a marcação com o modelo (TEC1-12706). Esse lado deve ficar em contato com o reservatório de água gelada.

Lado Quente: É o lado oposto, que deve ficar em contato com o reservatório de água quente.

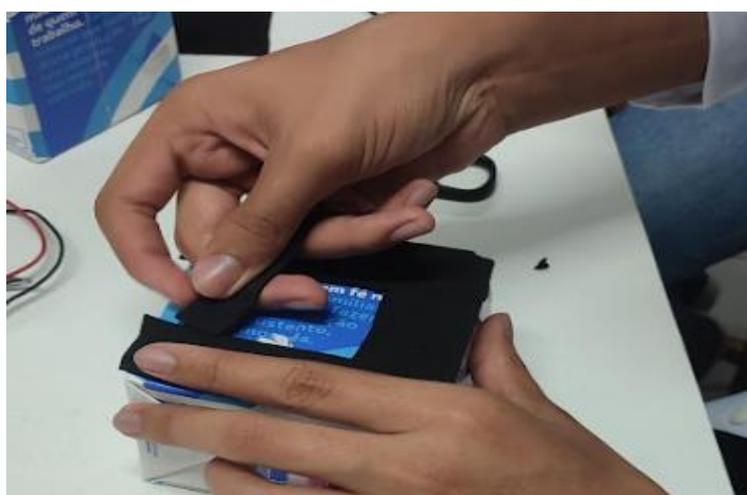
Figura A.2 – Circuito com placa Peltier



Fonte: Arquivo do autor (2023).

Para fixação da Peltier com maior segurança, recomenda-se utilizar entre os dois reservatórios uma proteção de Etileno-Acetato de Vinila (EVA) ao redor da placa. A Figura A.3 mostra a construção dessa proteção, dessa vez em reservatórios retangulares feitos de tetrapak.

Figura A.3 – Proteção de EVA para facilitar fixação da Peltier



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Como o fluxo entre os dois reservatórios através da Peltier é importante, é imprescindível garantir que esse contato aconteça sem falhas. Portanto, utiliza-se uma fixação

com algumas camadas de fita ao redor dos reservatórios para garantir que esteja bem seguro, conforme representado na Figura A.4.

Figura A.4 - Fixação dos reservatórios com fita, após a proteção de EVA na placa



Fonte: Arquivo do autor (2024).

Para evitar as trocas de calor com o ambiente, constrói-se um material isolante, sendo recomendado o isopor, por ser um bom isolante e de fácil acesso aos estudantes. A Figura A.5 mostra a construção de um isolamento com folhas de isopor, cortadas e coladas com tamanho suficiente para comportar os reservatórios presentes na Figura A.4.

Figura A.5 – Construção das paredes do isolante térmico

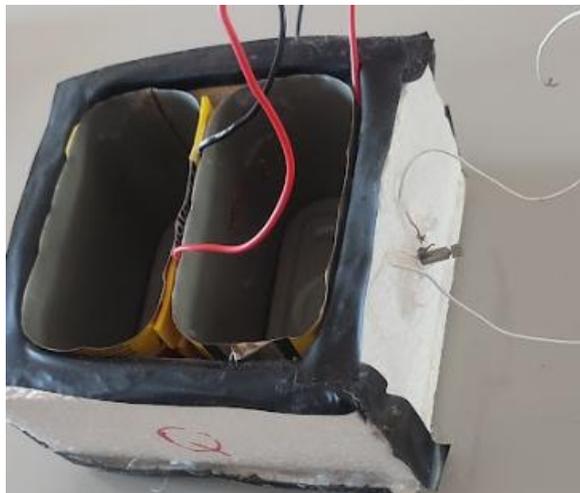


Fonte: Arquivo do autor (2024).

A Figura A.6, por sua vez, mostra uma esquematização completa do aparato experimental, com os reservatórios, feitos com latas reutilizadas, e com o motor acoplado na

parte externa do isolamento térmico. Além disso, utilizou-se uma pasta térmica para evitar pequenas bolsas de ar entre a Peltier e as latas, auxiliando também a fixação da placa.

Figura A.6 – Aparato experimental aberto, utilizando reservatórios de latas



Fonte: Arquivo do autor (2023).

O isolamento, nesse modelo, conta com fita isolante para prender as placas de isopor. Porém, outra possibilidade é utilizar um reservatório já pronto, que pode ser sugerido pelos próprios alunos. De toda forma, é importante realizar a caracterização do experimento antes da aplicação em sala de aula, a fim de testar possíveis materiais para os reservatórios, diferentes arranjos de isolamento térmico e outras variáveis que possam influenciar os resultados. A figura A.7 mostra o aparato com isolamento fechado, com termômetros posicionados para obtenção experimental dos valores de temperatura em cada um dos reservatórios, para o quente e o frio. Nesse caso, para encaixar os termômetros culinários bastou realizar dois furos na tampa do isolamento, de forma que cada termômetro estivesse em contato com apenas um dos reservatórios.

Figura A.7 – Aparato experimental com isolamento fechado



Fonte: Arquivo do autor (2023).

Uma dificuldade que pode ser apresentada é a obtenção de água quente e fria para os reservatórios, já que nem todas as escolas possuem um local que possa fazer esse processo. Nesse caso, uma possibilidade é que o professor leve um ebulidor elétrico e uma solução de gelo e água em algum recipiente isolante. Além disso, uma outra possibilidade é transferir essa parte para os próprios estudantes, verificando quais alternativas eles poderiam dar para obter um reservatório como fonte quente e outro como reservatório frio, porém essa proposta pode acarretar em mais tempo para atividade, não apenas pela discussão necessária, como também pela impossibilidade dos estudantes armazenarem corretamente o material a ser utilizado, necessitando de mais tempo para discussão e para se preparem para uso do material.

Por fim, o uso de termômetros culinários é recomendado durante a aplicação do produto (não apenas durante sua caracterização) para que os estudantes também possam iniciar uma caracterização de seu produto. A escolha de um modelo culinário se dá devido ao

fácil acesso e por permitir a entrada no isopor sem danificar significativamente o material, porém uma outra opção é utilizar o DS18B20, u, sensor à prova d'água recomendado para situações onde é necessário medir a temperatura em ambientes úmidos ou que há a necessidade de ser submerso em água, apesar de sua utilização requerer um conhecimento de equipamentos elétricos mais avançado dos estudantes.

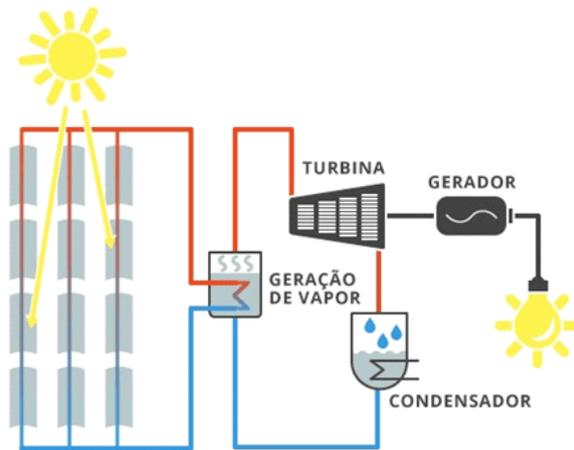
A.3 DESENVOLVIMENTO

1º Momento: Aplicação do questionário prévio

O conteúdo do questionário prévio deve ser elaborado com o objetivo de explorar conceitos fundamentais, como energia, calor, e temas relacionados à geração de energia. Abaixo, segue uma sugestão de questionário prévio para o professor, contendo questões abertas e fechadas. A justificativa para utilização de questões abertas é de que, conforme proposto por Mourão e Sales (2018), e ilustrado na Figura A.1, as questões abertas são ferramentas do Ensino Investigativo que promovem o debate, sendo um artifício para provocar os estudantes nos momentos posteriores. Já as questões fechadas têm o intuito de complementar as abertas, buscando compreender o raciocínio dos estudantes sobre a propagação do calor.

Tabela A.2 – Materiais essenciais para confecção da máquina de Seebeck

	Pergunta
Q1	O que você entende como sendo "energia"?
Q2	Quais formas de energia você observa no cotidiano?
Q3	Quais as formas de se obter energia você conhece?
Q4	Como isso se relaciona com conceitos como calor, eletricidade e energia mecânica?
Q5	De que forma o calor se propaga entre os corpos?
Q6	O que você entende como sendo uma máquina térmica?
Q7	A imagem representa o funcionamento de uma usina heliotérmica, em que a irradiação solar é responsável por aquecer uma tubulação d'água e gerar vapor. Descreva como a energia é gerada através dessa usina



Q8 Nas imagens abaixo, quais componentes você conhece? Você sabe suas funcionalidades?

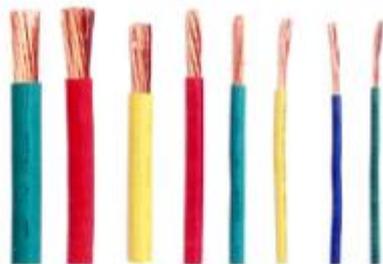
1

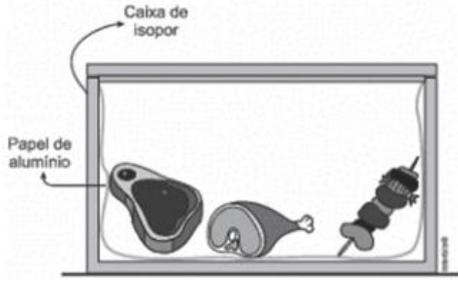


2



3



<p>Q9</p>	<p>No senso comum, as grandezas físicas calor e temperatura geralmente são interpretadas de forma equivocada. Diante disso, a linguagem científica está corretamente empregada em</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> "Hoje, o dia está fazendo calor". <input type="radio"/> "O calor está fluindo do fogo para a panela". <input type="radio"/> "A temperatura está alta, por isso estou com muito calor". <input type="radio"/> "O gelo está transmitindo temperatura para água no copo".
<p>Q10</p>	<p>A exposição do corpo humano a baixas temperaturas pode causar danos à saúde. Por esse motivo, surfistas utilizam roupas especiais quando praticam seu esporte em águas muito frias. A função dessas roupas é</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> transferir calor do meio ambiente para o corpo. <input type="radio"/> armazenar calor e fornecê-lo de volta ao corpo. <input type="radio"/> diminuir o fluxo de calor do corpo para o meio ambiente. <input type="radio"/> estimular a produção de calor pelo corpo. <input type="radio"/> facilitar a dissipação do calor produzido pelo corpo.
<p>Q11</p>	<p>A figura mostra um isolamento feito para conservar alguns alimentos em seu interior, utilizando caixa de isopor e papel de alumínio. Explique como funciona o isolamento realizado pelo material.</p>  <p>O diagrama ilustra um sistema de isolamento térmico. Uma caixa de isopor, rotulada como 'Caixa de isopor', contém uma camada de 'Papel de alumínio'. Dentro da caixa, há três tipos de alimentos: um pedaço de carne, um peru e um frango. O papel de alumínio serve para refletir o calor, impedindo que escape da caixa e mantendo os alimentos quentes por mais tempo.</p>

Fonte: Arquivo do autor (2023).

2º Momento: Introdução teórica a propagação de calor

Nesse momento, o professor deve se apresentar como um tutor, apenas orientando os estudantes a construção do saber científico baseado em conhecimentos prévios e vivências dos estudantes. Para isso, seguindo a proposta de Carvalho (2013) sobre como funciona o ensino investigativo, é importante que o professor dimensione anteriormente perguntas para

os estudantes, e sempre que possível não dê respostas prontas, pois isso minimiza a aprendizagem científica.

Para início, conforme apontado por Mourão e Sales (2018), uma das estratégias do ensino investigativo é o uso de questões abertas para fomentar discussões. Aproveitando-se desse recurso, conforme mencionado anteriormente, o questionário prévio pode ser elaborado com perguntas abertas que incentivem a reflexão.

Além disso, é importante incentivar exemplos que os estudantes tragam acerca da ideia de propagação de calor, principalmente por ser um aspecto recorrente no cotidiano deles. Já que a discussão, nesse caso, se apresenta como uma forma construtiva de promover o protagonismo dos estudantes, mesmo na ausência de atividades experimentais. Esse diálogo trazido pelos estudantes entre a aprendizagem e as relações socioculturais vivenciadas pelo indivíduo remete à perspectiva de Vygotsky (1991, p. 11), que afirma: Na melhor tradição de Marx e Engels, o mecanismo de mudança individual ao longo do desenvolvimento tem sua raiz na sociedade e na cultura.

3º Momento: Propagação de calor e Termodinâmica – Confecção da máquina de Seebeck

Nessa etapa da SEI inicia-se a confecção da máquina térmica. Portanto, parte da discussão deve envolver não apenas o conteúdo a ser trabalhado, como também o estímulo de como os estudantes podem confeccionar uma máquina térmica. Evidentemente, o contexto é importante, já que para uma proposta de baixo custo é importante considerar um fluido como a água, reservatórios com materiais facilmente obtidos, como caixa de leite e outros. Além disso, com a noção do que os estudantes levantaram no diálogo, o professor deve se antecipar, testando alguns materiais e levando outras alternativas.

A confecção da máquina térmica segue a proposta pedagógica de trabalhar as habilidades da Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2017), tais como a EM13CNT102, EM13CNT1026 e EM13CNT107, presentes no Anexo A. Nesse contexto, a habilidade EM13CNT101 é trabalhada ao fazer com que os estudantes analisem as transformações de energia térmica em energia elétrica dentro do sistema da máquina térmica. No entanto, essa habilidade deve ser aplicada não apenas de forma teórica, mas também prática, ao transformar a análise em ação.

Além disso, a habilidade EM13CNT107, que envolve a previsão do funcionamento de componentes elétricos, é trabalhada de forma contínua ao longo da atividade, uma vez que o sucesso dos testes só será confirmado no resultado final. Já a habilidade EM13CNT106,

relacionada ao pensamento crítico sobre custo-benefício e desenvolvimento sustentável, deve ser estimulada desde o início da construção.

Ademais, a socialização na troca de materiais e de saberes é importantíssimo, portanto, o professor deve estimular isto de forma a não privar os estudantes de conversarem e se relacionarem entre si, tratando a dinâmica como um projeto de todos. Esse aspecto é tão importante quanto incentivar os estudantes que estipulem as próprias hipóteses de como estabelecer o processo final de geração de energia, assim como o plano de trabalho e as demais etapas. Assim como pressuposto pelo construcionismo, caso o teste ou a obtenção de dados de alguma máquina não seja possível, também faz parte do resultado devido às limitações que caberá ao estudante identificar. Segundo palavras de Carvalho (2017, p. 39):

Nas aulas experimentais, sejam de demonstração ou de laboratório, um dos objetivos principais a serem alcançados, além do ensino do conteúdo conceitual intrínseco ao experimento – o conceito ou a lei –, é ensinar o conhecimento processual da ciência. Se for para os alunos conhecerem só o fenômeno, sem a discussão conceitual ou legal, é mais fácil e mais rápido recorrer a um vídeo do que preparar todos os arranjos experimentais necessários para essas aulas. Desse modo, é importante observar quem – professor ou alunos – raciocina e toma decisões sobre o processo da construção do conhecimento a ser ensinado. Deve-se observar se o professor é o expositor ou o condutor do conhecimento produzido.

4º Momento: Finalização da atividade e questionário final

No momento final da atividade, orienta-se que os estudantes realizem os ajustes necessários em seus aparatos experimentais, buscando a finalização da montagem da máquina térmica com base no efeito Seebeck. A mediação do professor neste momento deve se concentrar na observação dos critérios de funcionamento do dispositivo, como a presença de rotação no motor, indicando a conversão de energia térmica em energia mecânica, e a manutenção da diferença de temperatura entre os reservatórios térmicos. Recomenda-se que os grupos, mesmo diante de eventuais dificuldades técnicas, concluam a construção de seus modelos, uma vez que a atividade tem como foco tanto a análise dos resultados quanto o processo investigativo de tentativa e erro.

Através de um cronometro de celular e com um termômetro para cada reservatório, os estudantes podem, com auxílio do professor, realizar a caracterização do seu aparato, verificando o tempo de funcionamento do motor e sob qual regime de temperatura. Para isso, é aconselhável a medição das temperaturas ao longo de intervalos de tempo fixo, como de 20 em 20 segundos, assim como a constatação visual do motor, se ele está funcionando, se ele

apresenta resistência para realizar o movimento, quando está visivelmente perdendo velocidade etc.

Concluída a atividade experimental, o professor deve promover uma discussão orientada com a turma, incentivando os estudantes a relatarem as estratégias utilizadas, os obstáculos enfrentados e as soluções encontradas durante a experimentação. Essa etapa possibilita o fortalecimento da argumentação científica e a retomada dos conceitos físicos envolvidos, como as formas de energia presentes, os mecanismos de propagação de calor e a conversão de energia.

Em seguida, recomenda-se a aplicação de um questionário final individual, composto por questões abertas e fechadas, com o objetivo de avaliar a evolução da compreensão dos estudantes em relação aos conteúdos abordados. O instrumento deve contemplar aspectos como a diferenciação entre calor e temperatura, a identificação das formas de energia envolvidas no experimento, bem como a reflexão crítica sobre a atividade e a autoavaliação quanto à participação no grupo e no processo de aprendizagem. Nesse caso, recomenda-se o uso do próprio questionário prévio, com acréscimo de questões voltadas para a própria atividade, que podem ser utilizadas na discussão final.

Por fim, sugere-se que o encerramento da atividade seja marcado por uma abordagem investigativa que contemple a atividade proposta e promova o debate dos estudantes a partir dos questionamentos e conclusões obtidas pela experimentação. O professor deve retomar os principais conceitos físicos discutidos ao longo da sequência didática, ainda promovendo o protagonismo estudantil nessa etapa, assim como o desenvolvimento do pensamento crítico e a aprendizagem significativa dos conhecimentos científicos.

A.4 CONCLUSÕES

A proposta descrita nesta sequência didática visa contribuir para o ensino de Física no Ensino Médio por meio de uma abordagem investigativa centrada na construção de uma máquina térmica baseada no efeito Seebeck. Ao integrar fundamentos do construcionismo e do ensino por investigação, espera-se que a atividade possibilite ao estudante a compreensão conceitual de fenômenos relacionados ao calor, à temperatura e às transformações de energia, a partir da experimentação concreta e do trabalho colaborativo.

Além de favorecer a alfabetização científica, a atividade busca desenvolver habilidades previstas na Base Nacional Comum Curricular, como a argumentação científica, a análise crítica e a proposição de soluções a partir de evidências. A estrutura proposta, organizada em etapas progressivas e articulada com os conteúdos da segunda série do ensino médio, pretende apoiar o docente no planejamento de práticas mais significativas e contextualizadas.

Espera-se, portanto, que esta sequência funcione como um guia didático acessível e adaptável a diferentes contextos escolares, contribuindo para a promoção de um ensino mais participativo, crítico e conectado à realidade dos estudantes. Avaliações futuras da sua aplicação poderão fornecer subsídios importantes para o aprimoramento da proposta e a ampliação de seu impacto pedagógico.

A.5 REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: educação é a base.** Brasília, 2017a. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=79611-anexo-texto-bncc-aprovado-em-15-12-17-pdf&category_slug=dezembro-2017-pdf&Itemid=3019. Acesso em: 20 de out. 2024.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa. **Os estágios nos cursos de licenciatura**, 1 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa. **Ensino de Ciências por Investigação: Condições de implementação em sala de aula.** São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- FINO, Carlos. **Dewey, Papert, construcionismo e currículo.** In: (Contra) tempos de educação e democracia, evocando John Dewey/ org. Carlos Nogueira Fino, Jesus Maria Sousa. - CIE-UMa - Funchal: Centro de Investigação em Educação, 2017.
- MOURÃO, Matheus Fernandes; SALES, Gilvandenys Leite. O uso do ensino por investigação como ferramenta didático-pedagógica no ensino de Física. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 5, 2018. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/113>. Acesso em: 14 mai. 2024.
- PAPERT, Seymour. **A máquina das crianças: Repensando a Escola na era da Informática.** Porto Alegre: Artmed Editora, 1993.
- PAPERT, Seymour. **Situating Constructionism.** In: Harel (Ed.), Constructionist learning, 1991. Cambridge, MA: MIT Media Laboratory. Disponível em: <http://www.papert.org/articles/SituatingConstructionism.html>. Acesso em: 11 dez. 2022
- VYGOTSKY, Lev. **A formação social da mente.** 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

ANEXO A – Tabela de habilidades das competências, 1, 2 e 3 da BNCC a serem desenvolvidas

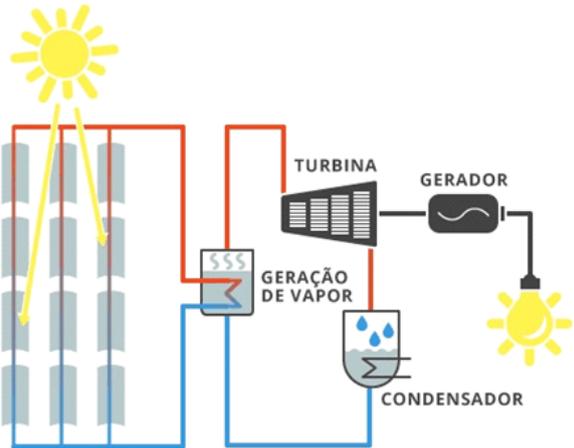
Competência	Habilidade	Descrição
1	EM13CNT101	Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.
	EM13CNT102	Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.
	EM13CNT106	Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais
	EM13CNT107	Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para propor ações que visem a sustentabilidade

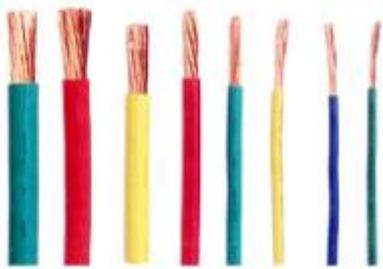
Competência	Habilidade	Descrição
	EM13CNT205	Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites

		explicativos das ciências.
--	--	----------------------------

Competência	Habilidade	Descrição
	EM13CNT307	Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano
	EM13CNT308	Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PRÉVIO E FINAL

	Pergunta
Q1	O que você entende como sendo "energia"?
Q2	Quais formas de energia você observa no cotidiano?
Q3	Quais as formas de se obter energia você conhece?
Q4	Como isso se relaciona com conceitos como calor, eletricidade e energia mecânica?
Q5	De que forma o calor se propaga entre os corpos?
Q6	O que você entende como sendo uma máquina térmica?
Q7	<p>A imagem representa o funcionamento de uma usina heliotérmica, em que a irradiação solar é responsável por aquecer uma tubulação d'água e gerar vapor. Descreva como a energia é gerada através dessa usina</p> 
Q8	Nas imagens abaixo, quais componentes você conhece? Você sabe suas funcionalidades?

	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>1</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>2</p>  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>3</p>  </div>
<p>Q9</p>	<p>No senso comum, as grandezas físicas calor e temperatura geralmente são interpretadas de forma equivocada. Diante disso, a linguagem científica está corretamente empregada em</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> "Hoje, o dia está fazendo calor". <input type="radio"/> "O calor está fluindo do fogo para a panela". <input type="radio"/> "A temperatura está alta, por isso estou com muito calor". <input type="radio"/> "O gelo está transmitindo temperatura para água no copo".
<p>Q10</p>	<p>A exposição do corpo humano a baixas temperaturas pode causar danos à saúde. Por esse motivo, surfistas utilizam roupas especiais quando praticam seu esporte em águas muito frias. A função dessas roupas é</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> transferir calor do meio ambiente para o corpo. <input type="radio"/> armazenar calor e fornecê-lo de volta ao corpo. <input type="radio"/> diminuir o fluxo de calor do corpo para o meio ambiente. <input type="radio"/> estimular a produção de calor pelo corpo. <input type="radio"/> facilitar a dissipação do calor produzido pelo corpo.

Q11

A figura mostra um isolamento feito para conservar alguns alimentos em seu interior, utilizando caixa de isopor e papel de alumínio. Explique como funciona o isolamento realizado pelo material.

