

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR: ATIVIDADE EXPERIMENTAL
INVESTIGATIVA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DA RELAÇÃO
ENTRE CALOR E TRABALHO**

Jacson Santos Azevedo

Recife/PE
Agosto - 2020

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR: ATIVIDADE EXPERIMENTAL INVESTIGATIVA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DA RELAÇÃO ENTRE CALOR E TRABALHO

Jacson Santos Azevedo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco no polo 58 do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Recife/PE
Agosto - 2020

**EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR: ATIVIDADE EXPERIMENTAL
INVESTIGATIVA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DA RELAÇÃO
ENTRE CALOR E TRABALHO**

Jacson Santos Azevedo

Orientador:
Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco no polo 58 do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior
(Presidente)

Prof. Dra. Sara Cristina Pinto Rodrigues
(Titular Interno)

Prof. Dr. Francisco Augusto Silva Nobre
(Titular Externo)

Recife/PE
Agosto - 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

Azevedo, Jacson Santos

Equivalente mecânico do calor: Atividade experimental investigativa para aprendizagem significativa da relação entre calor e trabalho / Jacson Santos Azevedo - Recife: UFRPE / DF, 2020.

110 f.: il.;30 cm.

Orientador: Francisco Nairon Monteiro Júnior.

Dissertação (mestrado profissional) – UFRPE / Departamento de Física / Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física, 2020.

Referências Bibliográficas: f. 66-71.

1. Equivalente elétrico do calor. 2. Princípio da conservação da energia. 3. Aprendizagem significativa. 4. Ensino de física por investigação. I. Monteiro Júnior, Francisco Nairon. II. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Física, Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física. III. Equivalente mecânico do calor: Atividade experimental investigativa para aprendizagem significativa da relação entre calor e trabalho.

DEDICATÓRIA

Primeiramente, dedico este trabalho a minha mãe, ao meu pai, ao meu filho, a minha companheira e a toda minha família. Também dedico este simples trabalho a Física e a Matemática que nos permite desvelar, com aproximação razoável, a Natureza e seus labirintos. Por último, dedico esta pesquisa a História, Filosofia e Sociologia da Ciência por fornecer indícios, pistas, posicionamentos, hipóteses e teorias que contribuem para a apreensão dos processos de elaboração da Ciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a minha família pelo apoio durante a realização do mestrado profissional.

Agradeço ao professor Nairon pelo trabalho de orientação e pelos fundamentos teórico-metodológicos debatidos que diretamente subsidiou a elaboração desta pesquisa.

Agradeço ao Departamento de Física da UFRPE pelo arcabouço teórico, a Sociedade Brasileira de Física (SBF) pelo apoio e aos professores Adauto e Mike pelo suporte administrativo.

Agradeço a Capes pelo apoio financeiro que contribuiu para a construção desta dissertação.

Agradeço a todos meus colegas, sem exceções, da turma MNPEF/UFRPE (2017) pelo convívio e aprendizagem, regado a descontração e muito estudo.

Agradeço ao grupo de estudantes da Escola São Miguel que, por livre e espontânea vontade, participaram ativamente das atividades experimentais investigativas propostas por meio da aplicação do produto educacional.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, direta ou indiretamente, colaboraram para o desenvolvimento desta pesquisa. Por uma educação crítica e transformadora.

RESUMO

EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR: ATIVIDADE EXPERIMENTAL INVESTIGATIVA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DA RELAÇÃO ENTRE CALOR E TRABALHO

Jacson Santos Azevedo

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco no polo 58 do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A presente dissertação, na qual desenvolvemos um produto educacional composto por uma sequência didática investigativa centrada na aprendizagem significativa do equivalente mecânico do calor, busca auxiliar professores de física no ensino deste tema por meio de atividades experimentais investigativas e colaborativas. Por meio do seu similar elétrico, este produto educacional propõe, no estudo da calorimetria e da termodinâmica, uma sequência didática que aborda os subsunçores energia, calor, temperatura, trabalho e equivalente mecânico do calor, hierarquizados e em consonância com seus respectivos organizadores prévios. O princípio da conservação da energia é o principal referencial teórico que permeia os experimentos desse produto que, além desse, são completados pela diferença e a convergência dos conceitos de calor e temperatura e a compreensão de trabalho como variação de energia. A aplicação do produto mostrou-se eficiente para o entendimento da relação entre calor e trabalho, sintetizada pela igualdade $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$.

Palavras-chave: Equivalente elétrico do calor, princípio da conservação da energia, aprendizagem significativa, ensino de física por investigação.

Recife/PE
Agosto - 2020

ABSTRACT

MECHANICAL HEAT EQUIVALENT: INVESTIGATIVE EXPERIMENTAL ACTIVITY FOR THE SIGNIFICANT LEARNING OF THE RELATIONSHIP BETWEEN HEAT AND WORK

Jacson Santos Azevedo

Supervisor:

Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior

Master's thesis submitted to the Graduate Program of the Federal Rural University of Pernambuco in pole 58 of the National Professional Master's Degree in Physics Teaching (NPMPT), as part of the requirements necessary to obtain the title of Master in Physics Teaching.

The present dissertation, in which we developed an educational product composed by an investigative didactic sequence focused on the significant learning of the mechanical equivalent of heat, seeks to assist physics teachers in the teaching of this theme through experimental investigative and collaborative activities. By means of its electric similar, this educational product proposes, in the study of calorimetry and thermodynamics, a didactic sequence that addresses the subsumers energy, heat, temperature, work and mechanical equivalent of the heat, hierarchical and in consonance with its respective previous organizers. The principle of energy conservation is the main theoretical framework that permeates the experiments of this product, which, in addition to this, are complemented by the difference and the convergence of the concepts of heat and temperature and the understanding of work as energy variation. The application of the product proved to be efficient for the understanding of the relation between heat and work, synthesized by the equality $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$.

Keywords: Electric equivalent of heat, principle of energy conservation, meaningful learning, physical teaching by research.

Recife/PE
August - 2020

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Polias, massas, fios e bobina do aparato de Joule.....	2
Figura 2.1 – Mapa relacionando e discriminando os subsunçores eleitos.....	17
Figura 3.1 – Expansão adiabática e isobárica.....	24
Figura 3.2 – Esquema elétrico simplificado.....	30
Figura 4.1 – Calorímetro de pás fixas e móveis.....	34
Figura 4.2 – Réplica do aparato de Joule.....	35
Figura 4.3 – Estudantes sentados em círculo.....	37
Figura 4.4 – Estudantes atrim as mãos.....	39
Figura 4.5 – Estudante manuseiam a proveta com água.....	41
Figura 4.6 – Garrafa térmica e bule.....	42
Figura 4.7 – Estudantes aferindo a temperatura final de equilíbrio.....	43
Figura 4.8 – Estudantes com as seringas.....	48
Figura 4.9 – Momento da 3ª ETAPA.....	50
Figura 4.10 – Leitura coletiva do roteiro OP3.....	53
Figura 4.11 – Grupo examinando os materiais do roteiro.....	54
Figura 4.12 – Estudantes fazendo medições.....	55
Figura 4.13 – Estudantes fazendo as contas.....	55
Figura A.1 – Calorímetro com termômetro analógico.....	73
Figura A.2 – Proveta de 100 mL.....	74
Figura A.3 – Seringas de 10 mL.....	74
Figura A.4 – Calorímetro associado em paralelo com o multímetro.....	74
Figura A.5 – Borne ligado a um fio de 1,20 m com bifurcação.....	75
Figura A.6 – Plug da fonte AC/DC conectado ao borne.....	75
Figura A.7 – Fonte AC/DC ligado ao fio de 1,20 m com bifurcação.....	75

Figura A.8 – Resistência do calorímetro com seus terminais.....	76
Figura A.9 – Multímetro associado em série com o calorímetro.....	76
Figura A.10 – Mapa relacionando e discriminando os subsunçores eleitos.....	79

Sumário

Capítulo 1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	5
Capítulo 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA.....	9
2.1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	9
2.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: VERSÃO CRÍTICA.....	13
2.3 ENSINO POR INVESTIGAÇÃO.....	15
Capítulo 3 A FÍSICA DOS ORGANIZADORES PRÉVIOS.....	18
3.1 OP1: CAPACIDADE TÉRMICA DE UM CALORÍMETRO.....	20
3.2 OP2: TRABALHO DE UM GÁS.....	23
3.3 OP3: EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR.....	25
3.4 APRIMORANDO OS ORGANIZADORES PRÉVIOS.....	29
Capítulo 4 A APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	33
4.1 IMPLEMENTAÇÃO DA 1ª ETAPA E DA 2ª ETAPA.....	36
4.2 CONTINUAÇÃO DA 2ª ETAPA E IMPLEMENTAÇÃO DA 3ª ETAPA.....	45
4.3 IMPLEMENTAÇÃO DA 4ª ETAPA.....	51
Capítulo 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	59
Capítulo 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
Apêndice A O PRODUTO EDUCACIONAL – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR: ATIVIDADE EXPERIMENTAL INVESTIGATIVA PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DA RELAÇÃO ENTRE CALOR E TRABALHO.....	72
A.1 MONTAGEM DOS APARATOS.....	73
A.2 METODOLOGIA DE UTILIZAÇÃO.....	78
A.3 SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	81

A.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
--	-----------

Capítulo 1

Introdução

O equivalente mecânico do calor é frequentemente ensinado nas aulas de calorimetria e termodinâmica do ensino médio. Contudo, tal ensino é, em geral, realizado de modo historicamente descontextualizado quando deveria ser um momento em que a rica história que levou ao estabelecimento desta relação pudesse ser explorada. Ainda mais se considerarmos, além do aspecto motivador, a reconstrução de aparatos experimentais para serem utilizados em sala de aula.

A relação entre calor e trabalho mecânico obtido por James Prescott Joule (1818–1889) é um resultado com grande importância histórica para a física, que estava mergulhada em um grande debate em torno da natureza do calor durante o século XIX, qual seja: se o calor era um fluido conhecido como calórico, que migrava de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura, ou se era energia associada ao movimento de partículas de um corpo. Para cientistas renomados como Faraday (1791-1867), Joule e Mayer (1814-1878) o conceito de conversibilidade ou equivalência entre tipos de “forças” era o referencial necessário para encontrar a relação entre trabalho e calor, muito embora, ainda na primeira metade do século XIX, “força” era compreendida como nosso atual conceito de energia (QUEIRÓS *et al.*, 2014).

Dito isto, há interessantes relatos de pesquisa envolvendo história e experimentação no âmbito do aparato de Joule na investigação da relação entre calor e trabalho. Antes de apresentar esses relatos é importante salientar que, neste trabalho, energia térmica é sinônima de energia interna de uma substância e diferente da modalidade de energia calor (HEWITT, 2002; MARQUES; ARAÚJO, 2009; PIETROCOLA *et al.*, 2010) embora, a título de exemplo, Gaspar (2000) coloque calor e energia térmica de um corpo como sendo modalidades de energia congruentes.

Segundo Souza, Silva e Araujo (2014), o experimento de Joule passou por mudanças e adaptações, como, por exemplo, a conversão entre energia elétrica em térmica através da passagem de uma corrente em uma resistência que estava submersa em água ou mesmo no seu aparato mais popular correspondente a queda de duas massas iguais responsáveis por produzir atrito entre as pás do calorímetro com a água armazenada. Ainda segundo os autores, o aparato mais conhecido que Joule construiu envolvia um calorímetro de cobre, duas polias, duas massas idênticas, uma manivela ligada a um eixo tal que este se conectava as paletas e uma régua de madeira responsável por medir a altura de queda dessas massas. O

dispositivo se resumia a converter a energia mecânica da queda das massas em agitação térmica das moléculas de água no calorímetro pelo atrito das pás com a água. Essas massas eram ligadas aos fios que passavam pelas polias e eram enroladas como uma bobina a manivela. Ao soltar essas massas, a manivela girava o eixo e, conseqüentemente, as pás do calorímetro (CARVALHO; GOMES, 2014). A Figura 1.1, extraída do trabalho de Carmo *et al.* (2000, p. 4), é possível ver os dispositivos mencionados com enfoque nas régua laterais e o calorímetro no centro.

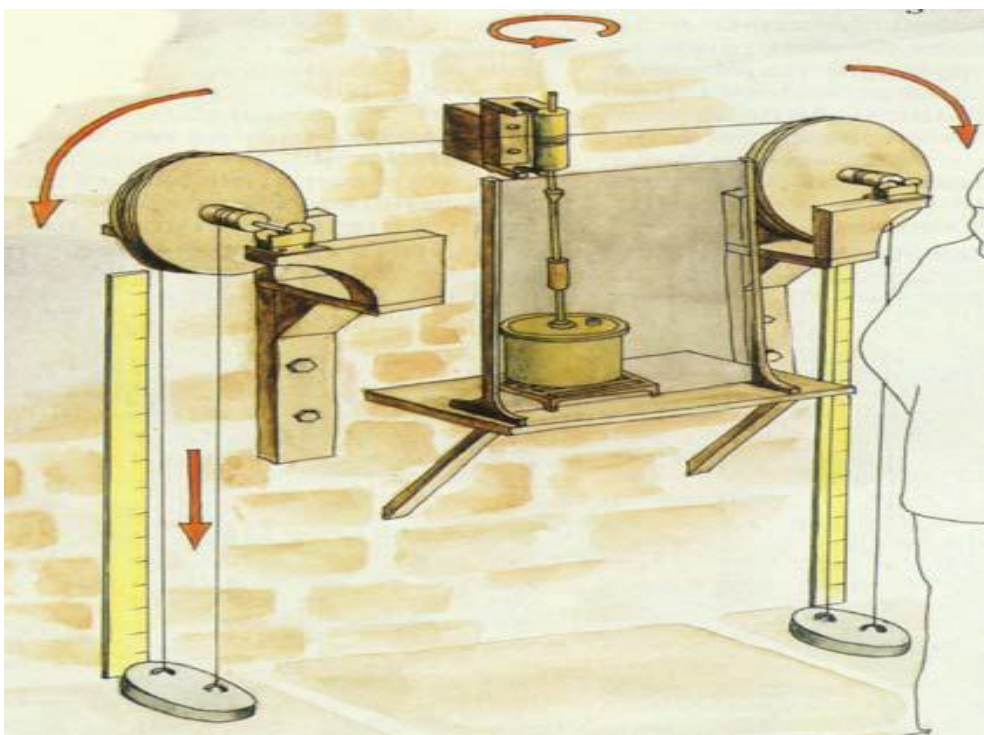


Figura 1.1: Polias, massas, fios e bobina do aparato de Joule.

Joule foi extremamente meticuloso em obter os dados numéricos para a temperatura da água e do ar do laboratório em função das perdas de calor para o meio externo, porém, em função das limitações dos termômetros da época, os autores questionam a validade dessas medições para a temperatura, pois envolviam até três casas decimais. Num primeiro momento da reprodução do experimento de Joule, os pesquisadores fizeram algumas adaptações no aparato como, por exemplo, usaram um motor elétrico e um eixo com 5 pás de madeira. Aplicaram esse aparato para um volume de 200 mL de água em 20 min de funcionamento do motor e a variação de temperatura da água foi apenas de 0,3 °C, isto é, o dispositivo perdia muita energia para sua vizinhança na elevação da temperatura da água. Outra modificação adotada pelos pesquisadores foi aumentar o volume de água em 300 mL, colocar somente duas pás de ferro e ampliar a capacidade do motor elétrico ao acrescentar uma fonte digital.

Nessas condições, em 15 min de fricção, a variação de temperatura da água foi de 0,8 °C, sendo a temperatura ambiente de 27 °C.

As conclusões acerca desse experimento, com essas características atualizadas pelos pesquisadores, foram bem provocadoras uma vez que devido ao excesso de perdas e a imprecisão da potência do motor elétrico, não foi possível encontrar o valor para o equivalente mecânico do calor. O fator temperatura da água gerou obstáculos ao experimento quando considerado seu alto calor específico. A água sofria pequenas variações de temperatura em intervalos de tempo considerável e, assim, aumentava a dissipação de energia para o meio externo. Além disso, a grande virtude levantada pelos pesquisadores na reprodução atualizada desse experimento foi mostrar as dificuldades e os percalços com os quais Joule se deparou mesmo não validando o resultado encontrado pelo cientista inglês e, portanto, abrindo um campo vasto a ser explorado nas salas de aula do ensino médio.

Outros autores como Passos (2009) têm estudado as circunstâncias históricas do princípio da conservação da energia que subsidiou teoricamente o experimento de Joule. Segundo o autor, esse conceito foi sendo amadurecido ao longo de aproximadamente 250 anos e contaram com a contribuição de importantes nomes da ciência como Laplace (1749-1827), Rumford (1753-1814), Carnot (1796-1832), Mayer, Lavoisier (1743-1794) e Joule, tendo Mayer encontrado primeiro que Joule um valor para o equivalente mecânico do calor correspondente a 3,6 J/cal. No entanto, o peso do apoio de Lord Kelvin (1824-1907) e longos anos de pesquisa, próximos a 35 anos concernente a esse experimento, fortaleceram o nome de Joule na história da física. Logo, a determinação do equivalente mecânico do calor com técnicas experimentais passava, a nível teórico, no refinamento da atualmente aceita lei da conservação da energia.

Neste contexto, abordando nos dias atuais e dentro da problemática da área de ensino, Carvalho e Gomes (2017) criticam a maneira como é abordada o equivalente mecânico do calor nos livros textos na área de física. Nos livros didáticos, a história e filosofia da ciência são meramente biográficas e sem problematizações e, além disso, o ensino de física é corroído pelas simples realizações de exercícios para fins de avaliações e vestibulares. Outro sintoma apontado pelos autores é a concepção do método da indução na ciência que desconstrói os debates e nega os avanços e retrocessos de uma pesquisa científica, alimentando uma ideia de ciência sem falhas, com observação neutra e dogmática. Muito pelo contrário, a ciência é elaborada por pessoas que apresentam suas convicções políticas e ideológicas e, portanto, não existe ciência neutra. Nessa perspectiva, Chaui (2000) aponta uma ciência com discontinuidades e rupturas epistemológicas, caminhando com conceitos e princípios mutáveis e, sendo assim, ressaltando a transitoriedade do saber científico (CHALMERS, 1993). Queirós *et al.*, (2014), balizados na epistemologia de Ludwik Fleck

(1896-1961), corroboram tais perspectivas ao ressaltar a produção técnico-científica de Joule como fruto de um ambiente político e econômico favorável pelas inovações tecnológicas da Revolução Industrial. Os autores apontam que os estudos aplicados de Joule na busca por motor elétrico eficiente, almejando substituir o motor a vapor, culminou em resultados fulcrais tais como o efeito Joule e o equivalente mecânico da caloria.

Selecionando e estudando cinco livros textos de física sobre o conceito de equivalente mecânico do calor, Carvalho e Gomes (2017) afirmam que os resultados obtidos foram preocupantes no que diz respeito a transposição didática entre os textos originais de Joule e os volumes avaliados. Na maioria dos volumes, as figuras associadas ao aparato de Joule são mutiladas e cheias de simplificações de tal maneira que prejudica o entendimento do experimento, além de fortalecer a ideia de uma ciência totalmente empírica. Em suas considerações finais, os autores concluem que, em geral, o corpo docente na área de ciências não se fundamenta na HFSC (História, Filosofia e Sociologia da Ciência) e acabam por apresentar o equivalente mecânico do calor de modo simplificado, sem apontar as transições conceituais de Joule sobre a natureza do calor, bem como, segundo Queirós et al., (2014), o contexto social e cultural privilegiado de circundava Joule, fornecendo todo um arcabouço técnico e científico para elaboração de suas atividades experimentais (QUEIRÓS *et al.*, 2019).

Já o conceito de calor é amplamente debatido na literatura científica na qual algumas situações apresentadas evidenciam o uso equivocado desse conceito. O calor é colocado como um processo de transferência de energia em função de uma diferença de temperatura entre o sistema e sua vizinhança. Em geral, nos livros didáticos, o calor é energia em trânsito (HEWITT, 2002). Porém, em torno deste debate, um corpo não pode conter calor, pois calor não é uma propriedade de um corpo (SILVA; LABURÚ; NARDI, 2008). Isto é, um corpo pode ter energia ou mesmo quantidade de calor quando toda a energia é transferida entre corpos nos quais existe uma determinada diferença de temperatura. Portanto, para alguns autores, calor não é energia, mas uma forma de transferir energia, assim como a conceituação operacional de trabalho (MOREIRA, 1998).

O tema calor tem incentivado elaboração de muitos aparatos e atividades experimentais. Por exemplo, Hofmann e Grandi (1988) propõe a construção de um calorímetro caseiro com materiais de baixo custo para determinação do calor latente de fusão do gelo. Ademais, existem propostas com um grau maior de recursos tecnológicos como um calorímetro de relaxação no qual, com uma placa Arduino, é possível encontrar o calor específico de certas amostras de materiais e ainda plotar gráficos (ROCHA; GUADAGNINI; LUCCHESI, 2017).

As máquinas térmicas são estudadas no ensino de física quando abordado o assunto termodinâmica. O objeto de aprendizagem Graxaim/Máquinas Térmicas (G/MT) é um equipamento que apresenta oito tipos de máquinas térmicas, através de uma animação, com quatro subsistemas: reservatório frio, reservatório quente, mecânico e a própria máquina térmica. De acordo com Sauerwein e Sauerwein (2012), esse produto vem acompanhado da construção em simultâneo de dois gráficos: um diagrama da Pressão versus Volume e outro diagrama da Energia versus Tempo. Em uma turma de estudantes do curso de licenciatura plena em física, o produto foi aplicado e apresentou resultados positivos como a identificação imediata da animação com a termodinâmica, o reconhecimento de subsistemas análogos em uma usina nuclear e em um refrigerador, isso sem uma breve revisão dos conteúdos relacionados a esse tema. A proposta desse equipamento virtual é dar um viés mais contextualizado e prático de uma máquina térmica que, em geral, é vista de maneira simplista e abstrata, pois tomando o gás ideal como um sistema que transfere energia a sua vizinhança na forma de trabalho, troca quantidades de calor com as fontes quente e fria e, assim, os estudantes não conseguem fazer paralelos desses modelos de máquinas térmicas com um ar condicionado, por exemplo. Na sequência abordamos a justificativa que motivou a concepção e elaboração deste trabalho de pesquisa.

1.1 Justificativa

Foi feito aqui um brevíssimo histórico do equivalente mecânico do calor ao destacar o protagonismo das contribuições de Joule e seu famoso equipamento. Dito isto, a ideia de trabalhar este tema se deu a partir da necessidade de explorar as potencialidades de atividades experimentais em física térmica. Sabemos que no 2º ano do ensino médio, além da termologia, é recomendado pelos parâmetros curriculares no Estado de Pernambuco, os conteúdos de óptica geométrica, ondulatória e hidrostática (PERNAMBUCO, 2014). Entretanto, em função das limitações dos estudantes, principalmente em dominar a linguagem matemática, os assuntos de termologia acabam consumindo todo o ano letivo. Além disso, outro fator que restringe a ampliação de conteúdos trabalhados em sala de aula nas escolas públicas regulares em Pernambuco é o pequeno número de horas aulas por semana na disciplina de física. Na Escola São Miguel, localizada no bairro Alto do Mandu em Recife/PE, são duas horas aulas por semana. Por conseguinte, é praticamente inviável abranger todos os conteúdos de física para os estudantes da rede pública estadual e regular no 2º ano do ensino médio principalmente, somando-se a estes percalços, almejamos um ensino com aprendizagem significativa.

Adotada como marco teórico nesta pesquisa, a teoria da aprendizagem significativa foi desenvolvida pelo psicólogo norte-americano David Ausubel (1918-2008) cujo enfoque dado é na estrutura cognitiva do aprendiz, em seus conhecimentos prévios, entendidos como a variável mais importante a ser considerada pelo docente no processo de ensino-aprendizagem (MOREIRA, 1999; 2011). Outros conceitos dessa teoria que permeiam este produto e que serão pormenorizados ao longo do texto, articulados com a temática termodinâmica, são subsunçores, mapa conceitual, diferenciação progressiva, reconciliação integradora, organizadores prévios, entre outros. Contudo, a efetiva aplicação do produto se deu por meio de uma metodologia ativa, a saber: o ensino de ciências/física por investigação. Para tanto, nas atividades experimentais propostas, lançamos mão da modalidade laboratório aberto nível 1, bem como de outra atividade investigativa que se aproxima de uma demonstração investigativa, conforme relatado neste trabalho de pesquisa.

Como dito anteriormente, o equivalente mecânico do calor abre as portas para uma atividade experimental investigativa e, sendo assim, pode ser explorado para fins de uma aprendizagem significativa em uma perspectiva ausubeliana, envolvendo termodinâmica e conservação de energia. A compreensão desse experimento se passa pela análise do princípio da conservação da energia e, conseqüentemente, da natureza do calor, conforme Passos (2009) e Bucussi (2006). Então, para iniciar os estudos da termodinâmica e fortalecer o entendimento da sua primeira lei (RESNICK; HALLIDAY, 1984; PASSOS, 2009), é válido apresentar esse experimento aos estudantes, precedido por duas atividades experimentais tomadas como organizadores avançados e expositivos, por permitir o movimento de diferenciação progressiva e reconciliação integradora dos conceitos de calor, temperatura e trabalho a partir do conceito geral de energia, neste caso, mais geral e inclusivo.

Em vista disso, essa proposta de sequência didática visa suprir algumas necessidades que os estudantes do 2º ano da Escola São Miguel apresentam em compreender a noção de calor como uma forma de transferência de energia em função exclusivamente da diferença de temperatura entre dois corpos. É muito comum entre esses estudantes apresentar contradições ao explicarem a diferença e também as convergências entre os conceitos de calor e de temperatura. Diga-se de passagem, essas contradições são também diagnosticadas em estudantes e docentes dos cursos de graduação em física e também em livros textos que abordam os temas calor, trabalho e temperatura (SILVA; LABURÚ; NARDI, 2008).

Existem limitações de outra natureza na Escola São Miguel que enaltece a importância da aplicação desse experimento em uma escola pública estadual em Pernambuco. A Escola São Miguel carece de um laboratório de ensino de ciências e essa atividade experimental poderia mitigar as dificuldades que o próprio poder público coloca aos estudantes quando restringi a prática docente no ensino de física, obrigando o docente a fazer

malabarismos. Por outro lado, isso exige do professor ou da professora audácia para diversificar suas aulas tradicionais, focadas sempre no quadro, no livro de texto e na narrativa do docente, e enveredar na construção de experimentos de baixo custo como sugere Arribas (1988) por meio de um conjunto de experimentos ao redor da temática calor. Analogamente, Axt e Brückmann (1993) sugerem experimentos de calorimetria de baixo custo como uma alternativa econômica, principalmente em escolas públicas, na construção de um laboratório de física para o ensino médio.

É neste clima desafiador que confeccionamos uma sequência didática repousada na aprendizagem significativa e no ensino por investigação. Essa sequência ou produto educacional lançou mão de três atividades experimentais tomadas como organizadores prévios, no âmbito da teoria da aprendizagem significativa, totalizando quatro etapas pavimentadas nos subsunçores energia, calor, temperatura, trabalho e equivalente mecânico do calor. Energia é adotada como subsunçor mais geral que, simultaneamente, se diferencia e relaciona-se com os conceitos intermediários calor, temperatura e trabalho, todos integrados a física térmica e a termodinâmica. Ainda constitui a sequência outro subsunçor mais específico, qual seja o equivalente mecânico do calor. Contudo, substituímos o trabalho mecânico por um equipamento mais simplificado, a saber um calorímetro munido de uma resistência elétrica.

No que tange a fundamentação teórica dessa sequência, ela foi escolhida pela relevância dada as concepções alternativas que os estudantes transportam em relação, principalmente, a noções de calor, temperatura e trabalho e a possibilidade, a partir desses conhecimentos prévios, de promover uma possível mudança conceitual. Este último ponto permite inserir metodologias ativas, em nosso caso, o ensino por investigação. Os organizadores prévios almejam aproximar as concepções espontâneas dos estudantes em conhecimentos aceitos pela comunidade científica, mais sistematizados, alicerçados no formalismo matemático, com a utilização de gráficos e tabelas e, portanto, sustentados por uma maior rigorosidade, sem negligenciar os aspectos conceituais, históricos e fenomenológicos a luz da ciência/física.

Assim, esse produto educacional também objetiva subsidiar docentes na área de física a nível médio no amadurecimento do princípio da conservação da energia na obtenção do equivalente mecânico do calor, sendo este princípio conservativo central na obtenção da relação entre calor e trabalho. Porém, na maioria esmagadora dos livros didáticos em física, esse experimento é apresentado de maneira superficial, sem uma análise histórica da conjuntura e com um caráter biográfico centrado na figura do cientista James P. Joule. Para além desses detalhes, esse produto pretende encontrar o valor do equivalente mecânico do calor a partir de um calorímetro com uma resistência elétrica, ou seja, por meio de seu

análogo elétrico, lembrando que o experimento original é irreprodutível a luz dos textos de Joule porque ele não forneceu informações precisas sobre certos elementos de seu aparato, segundo Souza, Silva e Araujo (2014).

Outro fator decisivo que influenciou no uso de um calorímetro elétrico em nossa sequência didática é apresentado por Alves (2008, p. 21-22). A autora cita empecilhos na reprodução do aparato de Joule em sala de aula tais como a complexidade da estrutura do calorímetro de pás, a sensibilidade do termômetro, o aparato de Joule ocupar muito espaço, o monitoramento exaustivo da temperatura ambiente, antes e depois da realização do experimento, e os acréscimos de energia por radiação vinda do ambiente ou do próprio experimentador.

Assim sendo, podendo explorar didaticamente as discrepâncias dos resultados obtidos em sala de aula em relação ao valor tipicamente aceito $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$, os docentes enriquecem o debate em torno do conceito de energia, da natureza do calor, sobre a diferença entre calor e temperatura, ou mesmo sobre perdas e acréscimos de energia que não estão sendo computadas pela própria sequência didática proposta, como, por exemplo, a diferença de temperatura entre a água e o ar que podem gerar trocas de energias para o meio externo.

Diante do exposto nesta breve introdução, na sequência apresentamos, no capítulo 2, a fundamentação teórica na perspectiva de Ausubel, Moreira e da termodinâmica, bem como a metodologia que pavimentou esta pesquisa. No capítulo 3, a física que permeia todos os organizadores prévios elaborados, no capítulo 4, a sua aplicação na escola com um grupo de estudantes voluntários constituído por 7 estudantes (6 mulheres e 1 homem), no capítulo 5, a análise de tal atividade e, finalmente, no capítulo 6, um exame conclusivo do percurso trilhado durante a pesquisa. No apêndice A encontram-se o produto educacional acompanhado de sua metodologia pavimentada no ensino de física por investigação para a aprendizagem significativa da relação entre calor e trabalho por meio de um calorímetro elétrico.

Capítulo 2

Fundamentação Teórico-metodológica

Neste capítulo esboçamos o marco teórico e metodológico que municiou este trabalho de pesquisa. Sendo assim, na primeira subseção, vamos visibilizar a versão clássica da aprendizagem significativa e alguns conceitos-chaves desta teoria, como, a título de exemplos, subsunçor, organizadores prévios, mapas conceituais, reconciliação integrativa e diferenciação progressiva. Ademais, ainda tratando dos aspectos teóricos, certos princípios norteadores da aprendizagem significativa crítica também dialogam com o produto educacional desta investigação e ganha espaço em uma seção exclusiva uma vez que descentralizamos o uso do quadro-de-giz e do livro didático. Na sequência, outra subseção apresenta a metodologia ativa que subsidiou nossa sequência didática, a saber: o ensino de ciências/física por investigação.

2.1 Aprendizagem Significativa

David P. Ausubel foi um importante psicólogo e pesquisador norte-americano da linha construtivista que formulou a teoria da aprendizagem significativa, entendida aqui como versão clássica (MOREIRA, 2006; 2013b). Segundo Moreira (2012), Ausubel defendia um ensino-aprendizagem baseado na estrutura cognitiva do aprendiz e centrado em dois pontos fundamentais na aprendizagem significativa do mesmo, quais sejam: a elaboração de materiais potencialmente significativos que resgatem ou fortaleçam os subsunçores dos estudantes e, principalmente, a disposição do estudante em querer aprender ou adquirir novos conhecimentos a partir de seus conhecimentos prévios (MOREIRA, 1999).

Os subsunçores que Ausubel enfatizava são os conhecimentos prévios que os estudantes já adquiriram ao longo da sua vivência escolar e cotidiana, muito embora passíveis de concepções alternativas em descompasso com os conhecimentos científicos consensuais (MOREIRA, 2005; VALADARES, 2012). Porém, não se trata de qualquer conhecimento prévio, mas de um conhecimento potencialmente significativo, que criem pontes e conexões com os novos saberes ou conhecimentos. Moreira (2012) cita um exemplo interessante e comum no ensino de física que é a ideia de campo eletromagnético. Teoricamente, o aprendiz já deve ter o subsunçor campo plenamente compreendido, uma vez que, em mecânica, essa ideia de campo gravitacional é sempre abordada ao mencionar a força peso. Ou seja, o conhecimento prévio relevante do aprendiz é campo gravitacional e o novo conhecimento a adquirir seria campo eletromagnético, sempre mostrando suas relações e diferenças.

Ainda explorando a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, os organizadores prévios são ferramentas interessantes, pois, supondo que os estudantes não tenham determinado subsunçor ou mesmo o tenha fracamente presente em sua estrutura cognitiva, organizadores prévios potencialmente significativos despertam ou estimulam esses conhecimentos, que tendem a relacionar e a diferenciar a nova ideia de seus conhecimentos já existentes (SILVA; SCHIRLO, 2014). Mesmo assim, a aplicação de um determinado organizador prévio não implica na garantia de aprendizagem significativa do estudante ou, se não, apresentando pequenos ganhos, conforme Moreira (2011; 2012).

Enquanto recurso instrucional que tem a finalidade de facilitar a aprendizagem significativa de conteúdos e conceitos, os organizadores prévios não são o cerne da obra de Ausubel, segundo Moreira (2008). Contudo, existe na teoria cognitivista ausubeliana dois tipos de organizadores prévios: os expositivos e os comparativos (MOREIRA, 2008; 2012). O primeiro tipo de organizador prévio deve ser selecionado quando os estudantes não tiverem nenhuma familiaridade com o material responsável por fazer a ancoragem com a sua estrutura cognitiva preexistente. Já o tipo comparativo, o aprendiz mostra certa familiaridade com o recurso instrucional ou didático a ser utilizado para suprir subsunçores ou mesmo fazer a relação ou diferenciação entre o novo saber e suas concepções prévias (MOREIRA, 2008).

Já os mapas conceituais desenvolvidos por Novak e colaboradores, segundo Moreira (2005; 2011; 2013a), são diagramas que podem relacionar conceitos que, em geral, são hierarquizados em níveis mais gerais, intermediários e, finalmente, específicos, desde que contenham processos cognitivos como a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora de tópicos ou conceitos a serem abordados. Além de serem dinâmicos, os mapas conceituais admitem um caráter pessoal por variar de estudante para estudante ou de docente para estudante, quando usado como mecanismo/recurso de avaliação (MOREIRA, 2012).

Neste trabalho, o objetivo em usar um mapa conceitual é mostrar as simultaneidades entre a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa entre os conceitos de energia, calor, trabalho, temperatura e o equivalente mecânico da caloria por meio de seu similar elétrico. Portanto, o nosso mapa conceitual atua como um recurso didático-metodológico, norteando a intervenção docente, e não como instrumento de avaliação dos estudantes por que orientam os docentes a proceder suas ações a partir dos processos cognitivos elencados acima, a saber, diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, bem como a organização sequencial dos subsunçores eleitos e sua consolidação por parte dos estudantes também estão inclusos em nosso mapa conceitual que acompanha o produto educacional.

Os conceitos evocados até agora pertencem a uma lista considerável de implementações em vários ambientes de aprendizagem nos quais nossa pesquisa almejou se inserir. Realmente, em se tratando de terminologia e atividades experimentais, Moro, Neide e

Rehfeldt (2016) trazem uma abordagem ausubeliana a partir da elaboração de mapas conceituais. Ignorando os detalhes experimentais, virtuais e reais, os autores tratam os principais aspectos na teoria da aprendizagem de Ausubel: o querer aprender dos estudantes e a aplicação de materiais (MOREIRA, 1999; 2012), experimentos reais e simulações computacionais, relevantes que envolvia os modos de propagação de calor. Os resultados foram bons quando submetidos a estudantes da rede privada de uma escola em Erechim, Rio Grande do Sul, por, além de cumprir com as duas condições supracitadas, os mapas conceituais construídos pelos estudantes mostravam fortes sinais de uma aprendizagem não-literal e não-arbitrária tais como evidenciar conexões entre o conceito de propagação de calor e situações cotidianas associadas as diferentes formas de propagação, assim como a diferença e relação entre calor e temperatura.

A aprendizagem significativa e o ensino de termodinâmica adentram as salas de aula nas universidades, como por exemplo, na cadeira de Físico-química I da Universidade Federal da Bahia, segundo Silva e Pregolato (1999). Inicialmente, de acordo com os autores, os estudantes mostravam fortes sinais de aprendizagem mecânica na resolução de problemas de termodinâmica no que diz respeito à primeira lei da termodinâmica. Mais da metade dos estudantes não sabiam explicar ou descrever o fenômeno físico dos enunciados que eram submetidos a resolver e, com isso, apresentavam soluções meramente matemáticas e sem conexão com o fenômeno em voga ou mesmo explicar a motivação de usar determinada equação em detrimento de outra.

As aulas de termodinâmica, nessa cadeira de Físico-química I, passaram a ganhar outro perfil, dando um maior protagonismo aos estudantes, ao fortalecerem, nas aulas expositivas, a resolução de problemas pelos próprios estudantes. Os frutos dessa metodologia provocaram uma maior interação entre os estudantes, além de criticidade construtiva e colaboração, quando apontavam equívocos nas soluções dos problemas. Quanto aos resultados, ficou comprovado que os estudantes desenvolveram as habilidades para analisar fenômenos físicos como, por exemplo, uma expansão isotérmica de um gás ou mesmo o aquecimento isobárico de um gás, em geral, acompanhado do formalismo matemático, com os devidos conhecimentos termodinâmicos correspondentes, com fortes evidências de aprendizagem significativa.

Organizadores prévios podem gerar pontes para novos saberes e conhecimentos na estrutura cognitiva do aprendiz (MOREIRA, 2011). Em termodinâmica, núcleos de estudos como o NOA, Núcleo de Construção de Objetos de Aprendizagem da Universidade Federal da Paraíba, elaboraram um aplicativo composto de mapas conceituais, textos que relaciona termodinâmica e o cotidiano, além de uma animação interativa que explica o funcionamento de uma máquina térmica acompanhada de uma construção gráfica, por exemplo, da curva

pressão em função do volume (TAVARES *et al.*, 2007). Segundo os autores do aplicativo, integrando animação interativa com mapas conceituais e textos, esse objeto de aprendizagem (OA), que funciona como um organizador prévio, potencializa a aprendizagem significativa de conceitos relacionados à termodinâmica com o incremento de recursos tecnológicos, neste caso, o uso do computador e da internet.

No nosso trabalho, os subsunçores hierarquizados a serem explorados na estrutura cognitiva dos estudantes são: energia, calor, trabalho, temperatura e o equivalente mecânico do calor. O conceito de energia é mais geral e pode ser fomentado a partir da noção prévia do aprendiz. A energia elétrica, por exemplo, presentes nas lâmpadas, celulares e computadores. A energia mecânica manifesta em nossos movimentos quando, a título de exemplos, pulamos ou nadamos. Ou ainda, provocar nos estudantes os motivos do funcionamento de televisores, ventiladores, geladeiras, entre outros equipamentos e, portanto, debater as modalidades de energia e suas transformações. Quanto aos subsunçores calor e temperatura, que são mais intermediários, o organizador prévio proposto é uma atividade experimental simples que consiste na obtenção da capacidade térmica do calorímetro. Portanto, esse organizador tem como objetivo facilitar o manuseio e a leitura do termômetro analógico, discriminar e relacionar o saber dos estudantes no que diz respeito à temperatura e calor.

Outro subsunçor intermediário é o conceito de trabalho, que no experimento mais conhecido de Joule, era mecânico, muito embora em nossa reconstrução híbrida simplificada, segundo a conceituação de Medeiros e Monteiro Júnior (2001), seja explorado o trabalho da força elétrica e o subsequente efeito Joule na resistência do calorímetro. Sendo assim, o organizador prévio para esse subsunçor é outra atividade experimental muito simples, que demonstra que a pressão é inversamente proporcional ao volume, executando trabalho ao expandir o volume de ar em uma seringa, além da apresentação conceitual do teorema do trabalho-energia. Para finalizar, o subsunçor mais específico é o equivalente mecânico do calor, aplicação do princípio da conservação da energia, por meio do seu análogo experimental que é o equivalente elétrico do calor.

2.2 Aprendizagem Significativa: Versão Crítica

A presente pesquisa repousou seus alicerces, fundamentalmente, na versão clássica da aprendizagem significativa, apesar de, noutra dimensão, também se comunicar com alguns princípios da versão crítica elaborada pelo físico e professor emérito da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Marco Antonio Moreira. Na aprendizagem significativa crítica não basta, nas condições e desafios postos pela contemporaneidade, apresentar aos educandos somente um ensino de física significativo no qual pretende, somente, ancorar seus conhecimentos prévios com as novas informações, conforme alega a versão clássica. Além de significativo, Moreira (2000; 2006; 2013b) também salienta o papel formador da criticidade. Para tanto, buscou pavimentar seus princípios de aprendizagem em pensadores como Freire (1921-1997), Skinner (1904-1990), Ausubel, Postman (1931-2003) e Finkel (????-1999).

Moreira (2013b; 2015), elenca alguns princípios norteadores de sua versão crítica ou antropológica, quais sejam:

- Princípio da interação social e do questionamento: *ensinar/aprender a fazer perguntas em lugar de respostas.*
- Princípio da não centralidade do livro de texto: *aprender a partir de diferentes materiais educativos.*
- Princípio do aprendiz como preceptor/representador: *aprender que somos perceptores e representadores do mundo.*
- Princípio do conhecimento como linguagem: *aprender que a linguagem está totalmente envolvida em todas as tentativas humanas de perceber a realidade.*
- Princípio da consciência semântica: *aprender que o significado está nas pessoas, não nas palavras, nas coisas.*
- Princípio da aprendizagem pelo erro: *aprender que o ser humano aprende corrigindo seus erros.*
- Princípio da desaprendizagem: *aprender a desaprender, a não usar conceitos e estratégias irrelevantes para a sobrevivência.*
- Princípio da incerteza do conhecimento: *aprender que perguntas são instrumentos de percepção, constituem o principal instrumento intelectual disponível para os seres humanos. O conhecimento humano depende das definições, perguntas e metáforas utilizadas para construí-lo.*
- Princípio da não utilização do quadro-de-giz e do abandono da narrativa: *aprender a partir de diferentes estratégias de ensino. Abandono da narrativa do professor como única estratégia.*

Tais princípios não devem ser tomados literalmente, mas apreendidos como metáforas. Ao transportar essa perspectiva para nosso produto educacional, princípios como a não centralidade do livro didático, da não utilização do quadro-de-giz, da interação social e do questionamento, assim como o princípio da incerteza, podem ser relacionados explicitamente com a sequência investigativa.

O enfoque em atividades experimentais investigativas desloca o epicentro da lousa e do livro de texto, instrumentos tradicionais das aulas expositivas, e passa fornecer situações práticas e manipulativas de ensino-aprendizagem mais ativo aos estudantes. Com isto não estamos afirmando que o professor ou a professora devem excluir o uso do quadro, do livro e das aulas expositivas de suas aulas de física, apenas exorta a implementação de novos recursos didáticos e da relevância de diversificar suas estratégias, pretendendo ampliar a participação do estudante e diminuir a centralidade da narrativa do docente. A título de exemplo, inserimos na sequência aplicativos de celular para cronometrar o tempo, mensurar temperaturas e, para a elaboração das contas, a calculadora ficou como optativa. Ademais, pelo perfil desafiador e não usual dos problemas suscitados pelos organizadores prévios, o princípio da interação social e do questionamento fica evidenciado, primeiramente, pelo destaque dado aos trabalhos em grupo, fortalecendo o diálogo e a comunicação entre os alunos, e também por estimular os questionamentos e não somente as respostas, direitos que são tolhidos nas modalidades tradicionais de exercícios, caracterizados pela múltipla escolha e testagem que comumente alimentam a aprendizagem mecânica. Portanto, este último princípio acaba por relacionar-se também com o princípio da incerteza por, ao incentivar a criação de perguntas, contribui para construir dúvidas e incertezas críticas nos estudantes em relação aos tópicos de termodinâmica.

2.3 Ensino por Investigação

Aliado as duas versões da aprendizagem significativa mencionadas neste capítulo, nossa sequência se completa com o uso do ensino por investigação que, enquanto metodologia ativa, segundo Carvalho (2013), pretende incutir nos estudantes uma educação científica mais problematizadora e autônoma, com questionários que incentivem uma linguagem científica escrita dos educandos, explorando ações manipulativas como intelectuais, fortalecendo o protagonismo deles (MOURÃO; SALES, 2018). Ainda segundo a autora, sequências de ensino por investigação são ferramentas metodológicas que conduzem o ensino-aprendizagem de ciências para uma abordagem mais próxima do aprender e fazer ciência.

Carvalho e Sasseron (2015), em defesa de sequências investigativas para o ensino/aprendizagem de física, apontam que o tradicional ensino por transmissão ignora a liberdade científica dos estudantes e, além de tão presente na prática pedagógica reducionista de muitos docentes, não resulta em aprendizagens ativas. Por outro lado, defendem ainda a consolidação nos estudantes de uma cultura científica, dita “enculturação”, que contemple a explicação de fenômenos físicos, num raciocínio mais próximo do hipotético-dedutivo na comunicação oral e escrita, bem como um ensino para aprender a falar de ciências, tomando o aprendiz como um ser ativo e que sistematiza conclusões sob a orientação do professor ou da professora (CARVALHO, 2013). Estes foram os parâmetros que nortearam nossa sequência didática.

Inicialmente, o educador deve separar a turma em grupos pequenos, por exemplo, cinco integrantes, com a definição de horários específicos para cada grupo, para garantir que toda a turma participe efetivamente das atividades experimentais, manuseando instrumentos de medição, colaborando na montagem dos aparatos, dentre outras atividades, num autêntico trabalho coletivo que abre espaço para o desenvolvimento de um processo de ensino e aprendizagem ativo e investigativo. Isto é, em uma abordagem na categoria laboratório aberto, conforme Mourão e Sales (2018), a montagem e a coleta de informações/dados por parte dos estudantes, na realização da atividade, consistem em atividades cruciais na construção de suas respostas que podem ser guiadas por questionários propostos.

Utilizamos aqui o laboratório aberto, nível 1, no qual o professor fornece os problemas e procedimentos, acompanhados de problematizações, antes e durante a aplicação. Os problemas são questionários dissertativos, nos organizadores prévios OP1 e OP3, permitindo conclusões abertas que exigem um maior teor de inclusão de princípios e conceitos físicos (AZEVEDO, 2016; MOURA, 2018). Carvalho (2018) refuta o nível 1 de

investigação. Para a autora, tal nível/grau de investigação não se distingue significativamente de uma aula laboratorial tradicional. Concordamos parcialmente com a perspectiva da autora, uma vez que nosso organizador prévio não foi concebido como uma atividade verificacionista, ou seja, não buscamos a validação do fator de conversão 4,186 J/cal pelos estudantes. Conforme o leitor perceberá mais adiante, as questões elaboradas estão única e exclusivamente endereçadas para as problematizações do princípio da conservação da energia, das discussões decorrentes das discrepâncias entre o valor encontrado pelos estudantes e o tabelado, bem como das formas de energia envolvidas na cadeia energética de transformações.

Em relação ao organizador prévio OP2, mesmo não acompanhado de um questionário aberto ou explicitamente de um problema, é recheado de conceitos importantes como transformações gasosas, o teorema do trabalho-energia, energia interna, trabalho mecânico, entre outros, enriquecendo a abordagem do subsunçor trabalho e sua consolidação pelo estudante e, sendo assim, aproximando-se de uma demonstração investigativa. Sendo assim, em linhas gerais, mesmo considerando que os organizadores prévios não contêm uma grande abertura para os estudantes levantarem hipóteses acerca do subsunçor a ser explorado, como propõe Carvalho (2013; 2018), por outro lado, as etapas desses organizadores incluem recolhimento de dados como, por exemplo, volume de água no calorímetro, temperatura da água e do ambiente, dentre outros, além de questionários responsáveis por fazer a transição desses procedimentos para ações intelectuais elaboradas na análise dos fenômenos observados com o auxílio do professor.

O mapa conceitual, mostrado na Figura 2.1, relaciona esses subsunçores com os respectivos organizadores prévios associados. Tais organizadores prévios são atividades experimentais acima descritas, quais sejam as atividades experimentais OP1, OP2 e OP3. A seta vertical descendente corresponde à diferenciação progressiva (DP), enquanto que a seta vertical ascendente diz respeito à reconciliação integradora ou integrativa (RI). Os organizadores prévios evocados, com o intuito de intensificar os subsunçores supracitados, são as atividades experimentais. Elas estão classificadas como: primeira atividade experimental (OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO), segunda atividade experimental (OP2 – TRABALHO DE UM GÁS) e terceira atividade experimental (OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR).

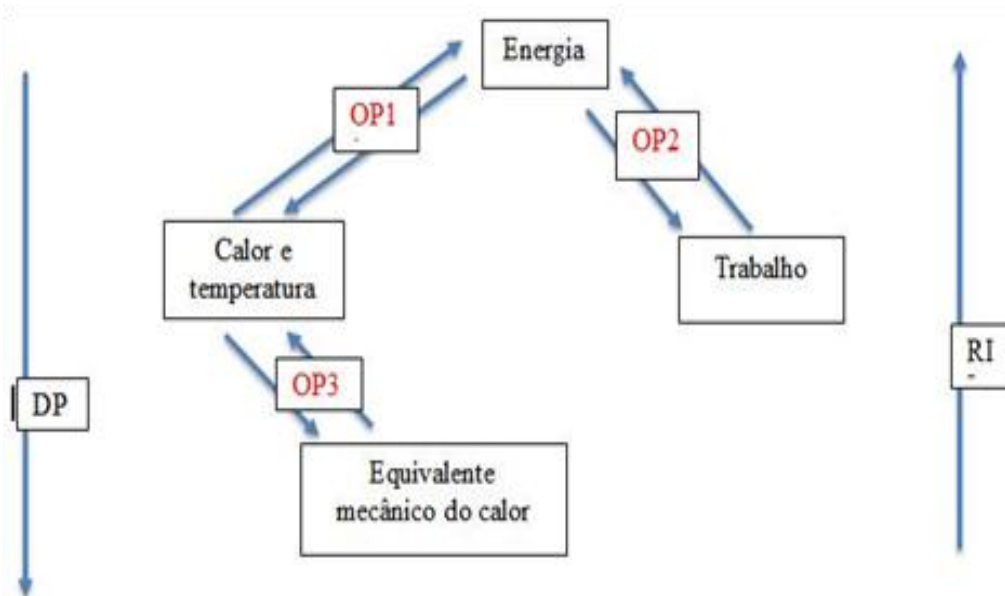


Figura 2.1: Mapa relacionando e discriminando os subsunçores eleitos.

Segundo Moreira (2005; 2012; 2013a), esses conceitos se conectam, mas também se diferenciam de tal maneira que, distante de uma aprendizagem mecânica fugaz e em um ensino engessado, a aprendizagem significativa admite esse sobe e desce interdependente e simultâneo, tanto na estrutura cognitiva do aprendiz como no ensino. A organização sequencial e a consolidação, de acordo com Moreira (2011), são princípios programáticos que compõem o mapa conceitual acima que é a espinha dorsal desse produto. O primeiro princípio pretende sequenciar os tópicos de ensino (subsunçores) de modo a manter uma lógica e coerência ao relacioná-los para facilitar a compreensão do aprendiz e organizar o conteúdo em sua estrutura cognitiva. Portanto, o aproveitamento de um plano de ensino, por exemplo, é ampliado quando as conexões entre os subsunçores, em nosso caso, exibem padrões de dependência e relação. A consolidação (mestria) dos conhecimentos, por sua vez, é auxiliada pela diferenciação progressiva, reconciliação integradora e pela organização sequencial, sendo ainda progressiva, não linear e não imediata (MOREIRA, 2012).

Em seguida apresentamos a física que permeou o produto desta pesquisa. Para tanto, foi dado um tratamento matemático repousado no cálculo diferencial e integral, abordando cada organizador prévio e, unido as contas, conceitos e princípios físicos que nortearam o produto educacional também são evidenciados.

Capítulo 3

A Física dos Organizadores Prévios

Os experimentos propostos OP1 e OP3, como parte do produto educacional, procuram fundamentar-se na aplicação do princípio da conservação da energia segundo o qual a energia total é sempre conservada, podendo ser transformada de uma modalidade para outra, mas jamais criada ou destruída (RESNICK; HALLIDAY, 1983). O interessante neste enunciado é que a ideia de energia ainda é uma grande incógnita, mesmo conhecendo algumas expressões matemáticas para certas espécies de energia, a física atual ainda não decifrou essa grandeza por completo (FEYNMAN, 1999). No que tange o experimento OP2, optamos por trazer uma abordagem relacionada ao trabalho mecânico da força do ar aprisionado em uma seringa em uma aproximada transformação adiabática na qual, inicialmente, o experimentador realiza um trabalho externo sobre o ar ao comprimi-lo e, na sequência, ocorre uma abrupta expansão volumétrica do ar.

Não somente a conservação da energia sustenta o produto educacional desta pesquisa. Outros conceitos e grandezas tais como calor específico de uma substância, capacidade calorífica de um corpo, temperatura, calor e trabalho também engloba a discussão da física térmica que pavimenta os organizadores prévios dessa sequência didática nas primeiras três seções deste capítulo. Por último, dedicamos uma seção aos procedimentos adotados para aperfeiçoar o nosso aparato que sustentou essa sequência investigativa. Entretanto, antes de especificar a parte física que balizou os organizadores OP1, OP2 e OP3, vamos abordar alguns conceitos da física tais como energia cinética e potencial de um corpo, trabalho de uma força com ênfase na força peso, teorema trabalho-energia e o efeito Joule. O objetivo, por um lado, é fortalecer os alicerces do leitor ou da leitora para uma apropriação mais substancial da física apresentada nas seções 3.1, 3.2 e 3.3, bem como, por outro lado, esses mesmos fundamentos físicos foram evocados qualitativamente ao longo da aplicação do produto, conforme veremos no capítulo 4.

Moreira (1998) e Feynman (1999) destacam que a energia e seu princípio conservativo são um dos pilares da física. Contudo, assim como o tempo, energia é um conceito indefinível, mesmo admitindo sua manifestação quando observamos um carro em movimento, ou mesmo ouvimos música e presenciamos uma lâmpada ligada. Nesses exemplos é possível notar diferentes formas/modalidades de energia e suas intrincadas transformações ou conversibilidades. A título de constatação, para uma lâmpada de filamento acesa, ao se considerar os choques entre os elétrons livres e os íons da estrutura do fio, produzem uma conversão entre energia elétrica em térmica cujo fenômeno denominamos

efeito Joule. Com o fio em alta temperatura, ainda podemos destacar as modalidades calor e radiação (energia luminosa). Calor por existir uma diferença de temperatura entre o filamento aquecido e seu meio externo adjacente e, obviamente, a energia luminosa pela luz emitida.

No escopo dessa discussão, a energia cinética de um corpo é uma modalidade de energia associada seu ao movimento. Sendo assim, dependendo do referencial adotado pelo observador, a energia cinética pode assumir diferentes valores. Segundo Nussenzveig (2002a, p. 109), para um corpo de massa m e velocidade escalar v , sua energia cinética é proporcional ao quadrado dessa velocidade. Tendo a velocidade de um corpo uma relação de dependência com o referencial, então sua energia cinética também guarda essa dependência. Ademais, para sistemas conservativos, energia cinética e potencial também guardam uma intrincada relação.

Para ilustrar, consideremos uma experimento simples, a saber um corpo de massa m em queda livre nas proximidades da superfície da Terra. No instante inicial, a certa altura do solo, o sistema “corpo-Terra” tem uma certa configuração que admite a presença de uma energia potencial de gravidade ou gravítica uma vez que se tem uma interação do corpo com a Terra e está em “potencial” para transforma-se em cinética ao liberar o corpo (NUSSENZVEIG, 2002a, p. 109). A medida que o corpo se aproxima da Terra, o sistema se reconfigura resultando em um aumento de sua energia cinética e diminuição de sua energia potencial. De fato, a energia cinética cresce porque a velocidade do corpo cresce quando sujeita a um campo gravitacional uniforme e, por conseguinte, sua energia potencial decresce pelo corpo ocupar posições cada vez mais próximas do solo, nosso nível de referência neste experimento.

Ainda podemos nos apossar do experimento anterior para adicionar o conceito de trabalho de uma força peso. Conforme Nussenzveig (2002a, p. 109), energia potencial também realizada trabalho. Sem perda de generalidade, ao considerar o trabalho de uma força constante, podemos ter uma força favorável ao deslocamento do corpo, desfavorável e até indiferente ao movimento do corpo, respectivamente, trabalho positivo, negativo e nulo. Isto é, o trabalho é uma grandeza escalar algébrica que relaciona força e deslocamento. Na queda do corpo, sendo o seu peso uma força radial voltada para o centro da Terra, acaba por facilitar o deslocamento do corpo, ou seja, o peso é uma força favorável ao movimento de queda e, portanto, o peso aplicado ao corpo realiza trabalho positivo (NUSSENZVEIG, 2002a, p. 108). Entretanto, ao lançar o mesmo corpo para cima com certa velocidade, a direção do deslocamento é oposta ao peso que atua no corpo, dificultando o deslocamento da massa. Neste caso dizemos que o peso aplicado ao corpo realizou trabalho negativo. O peso aplicado a um corpo não realiza trabalho quando sua direção é perpendicular ao do movimento do

corpo, como, por exemplo, ao carregar um objeto sobre a cabeça quando caminhamos em linha reta.

Trabalho de uma força, seja ela constante ou variável, além de relacionar força e deslocamento, também está associada a ideia de energia. Para revelar tal associação, evoquemos mais uma vez nosso experimento da queda livre, contudo, preservada todas as condições iniciais do experimento, exceto uma: o sistema “corpo-Terra” passa a ser o sistema “corpo”. Com isso o peso passa a ser uma força externa ou, em outras palavras, o peso é uma força que a Terra, agora vizinhança do sistema, aplica no corpo em queda. Ao cair, conforme constatamos anteriormente, o peso aplicado ao corpo realiza trabalho, mas também varia a energia do sistema “corpo”, pois a energia cinética está aumentando enquanto que sua energia gravítica está diminuindo. Similarmente, quando lançamos o corpo para cima, a energia do sistema “corpo” também varia por aumentar a energia gravítica e decrescer a velocidade da massa. Em ambas situações empíricas descritas é possível verificar que o trabalho da força peso é igual a variação de energia cinética do sistema “corpo”. Generalizando, o trabalho realizado pela resultante das forças externas de um sistema é igual à variação de energia cinética do sistema entre as posições inicial e final, de acordo com Nussenzveig (2002a, p. 113). A este enunciado denominamos teorema trabalho-energia para forças externas também conhecido como teorema da energia cinética. Além disso, esse teorema pode ganhar novas feições quando alteramos o sistema adotado. A título de verificação, se no experimento da queda livre adotássemos o sistema “corpo-Terra”, o peso aplicado ao corpo seria uma força interna e, conseqüentemente, o trabalho realizado pela resultante das forças internas do atual sistema é igual ao negativo da variação da energia potencial de gravidade (DOMÉNECH *et al.*, 2005).

3.1 OP1: Capacidade Térmica de um Calorímetro

A fundamentação teórica nessa atividade experimental é formada, basicamente, pela aplicação do princípio da conservação da energia. Porém, é necessário construir alguns conceitos preliminares, como, por exemplo, o de capacidade térmica de um corpo. Segundo Resnick e Halliday (1984), a capacidade térmica de um corpo (C), quando fornecida certa quantidade de calor (dQ) e um acréscimo de temperatura (dT), é dada pela equação (3.1.1)

$$C \equiv \frac{dQ}{dT},$$

com uma dimensão, no SI, correspondente a joules por Kelvin ou mesmo em joules por graus Celsius. Ainda de acordo com os autores, o calor específico de uma substância, por definição, é a razão da capacidade térmica do corpo pela sua massa, conforme a equação (3.1.2):

$$c \equiv \frac{C}{m}.$$

Elevando a temperatura do corpo de T_i para T_f , transferindo certa quantidade de calor e combinando as duas expressões anteriores (3.1.1) e (3.1.2), têm:

$$\begin{aligned} \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT} &= c \\ Q &= mc \int_{T_f}^{T_i} dT \\ Q &= mc\Delta T \quad (3.1.3) \end{aligned}$$

com $\Delta T = T_f - T_i$. É importante frisar que, tanto a capacidade térmica como o calor específico da substância, não são constante porquê $c = c(T)$ e $C = C(T)$. Entretanto, vamos desenvolver as contas considerando seus valores médios dentro do intervalo de temperatura estipulado (NUSSENZVEIG, 2002b).

O nosso experimento tem o objetivo de obter a capacidade térmica de um calorímetro, ignorando as trocas de calor com o meio externo, sendo assim, “quase ideal”. Nussenzveig (2002b) aborda um problema envolvendo a determinação do calor específico de uma amostra A com o uso de um calorímetro de mistura. Dada uma amostra A e conhecendo sua massa m_A e sua temperatura inicial T_A , mergulhamos a amostra em uma massa de água m com temperatura inicial T_i tal que $T_i < T_A$, isto é, a amostra deve transferir energia para água e o vaso calorimétrico no interior do calorímetro “quase ideal”. Como a água e o calorímetro (vaso calorimétrico) estavam inicialmente em equilíbrio térmico e sendo C a capacidade térmica do calorímetro “quase ideal”, temos:

$$\begin{aligned} Q_A + Q_{\text{água}} + Q_{\text{calorímetro}} &= 0 \\ mc_A(T - T_A) + mc(T - T_i) + C(T - T_i) &= 0 \\ c_A &= \frac{(mc + C) \cdot (T - T_i)}{m_A(T_A - T)} \quad (3.1.4) \end{aligned}$$

sendo T a temperatura final de equilíbrio térmico do conjunto amostra, água e calorímetro (vaso calorimétrico). Salientamos novamente que desprezamos as trocas de calor entre o calorímetro e o meio externo e, portanto, a quantidade de calor do ambiente externo não é computada na conta anterior. Em função disso denominamos de calorímetro “quase ideal” ou “semi-ideal” uma vez que $Q_{ambiente} = 0$ (COSENTINO; RIOS, 2020).

Analogamente, em nosso roteiro, determinada massa de água m_1 é colocada em um calorímetro. Atingido o equilíbrio térmico entre o calorímetro e a massa m_1 , obtemos a temperatura de equilíbrio T_C . Outra massa de água m_2 é aquecida até a temperatura de ebulição e simbolizamos essa temperatura por T_0 . Rapidamente colocamos essa massa no vaso calorimétrico e esperamos novamente o equilíbrio térmico envolvendo o calorímetro “semi-ideal”, a massa m_1 e a massa m_2 . Essa temperatura de equilíbrio denominamos de T . Se aplicamos o princípio da conservação da energia, então:

$$\begin{aligned}
 & Q_{calorimetro} + Q_{\acute{a}gua1} + Q_{\acute{a}gua2} + Q_{ambiente} = 0 \\
 & C \cdot (T - T_C) + m_1 \cdot c \cdot (T - T_C) + m_2 \cdot c \cdot (T - T_0) + 0 = 0 \\
 & C = \frac{m_1 \cdot c \cdot (T_C - T) + m_2 \cdot c \cdot (T_0 - T)}{T - T_C} \quad (3.1.5).
 \end{aligned}$$

3.2 OP2: Trabalho de um Gás

Nesse organizador prévio, adotamos o ar atmosférico um gás ideal e o processo aproximadamente adiabático em função da rapidez da expansão do pistão da seringa. Além disso, o pistão não se desloca de maneira infinitesimal, ou seja, de modo que o intervalo de tempo entre os dois estados termodinâmicos seja muito pequeno (OLIVEIRA, 2005). Entretanto, a título de exemplo, suponhamos que o processo seja quase-estático, adiabático e no qual o ar se submeta a uma expansão volumétrica de V_1 para V_2 . Quer dizer, uma transformação gasosa sem trocas de energia entre o sistema (gás) e sua vizinhança e na qual ocorreu aumento de volume e, sendo assim, $V_2 > V_1$. Segundo Oliveira (2005), concernente ao trabalho de um gás ideal, tem-se:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} \left(\frac{B}{V}\right) dV$$

$$W = B \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$W = B \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad (3.2.1).$$

Isto é, o trabalho realizado pelo ar é proporcional a $\ln(V_2/V_1)$ sendo, por hipótese, $p = B/V$ com B uma constante. Em outras palavras, a pressão é inversamente proporcional ao volume do ar.

Em caso de uma expansão isobárica do gás, além do volume aumentar neste tipo de transformação termodinâmica, a pressão do gás é invariante ao longo do processo. A força do gás realiza um trabalho sobre sua vizinhança que é proporcional a sua variação volumétrica. Fazendo as contas, vem:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

$$W = p \int_{V_1}^{V_2} dV$$

$$W = p \cdot \Delta V. \quad (3.2.2)$$

Diante do enunciado, podemos ampliar o diálogo proposto ao articular esses resultados com a primeira lei da termodinâmica. Em ambas transformações citadas, seja com pressão constante ou variável, a quantidade de calor é sempre nula uma vez que essas mudanças ocorrem sem trocas de energia. Sendo assim, toda a energia interna do sistema é “convocada” a realizar trabalho sobre sua vizinhança tal como empurrando o êmbolo de um cilindro com paredes isolantes, conforme demonstra a Figura 3.1 ao ilustrar uma expansão isobárica de um gás ideal.

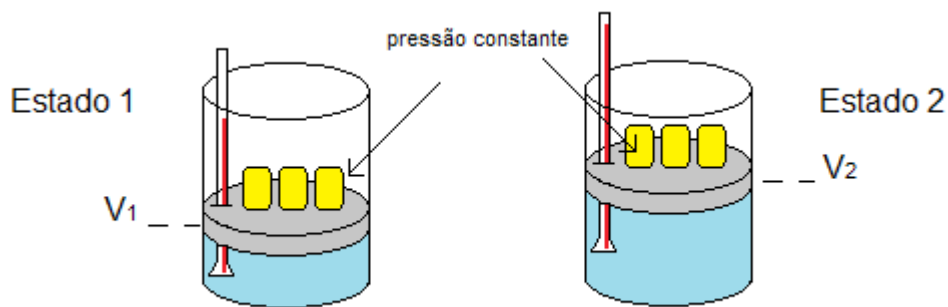


Figura 3.1: Expansão adiabática e isobárica.

(Fonte: Infoescola.com)

3.3 OP3: Equivalente Mecânico do Calor

Nesse organizador prévio, substituímos o trabalho mecânico das pás, referente ao aparato clássico da experiência de Joule, pelo trabalho da força elétrica e, sendo assim, trataremos da física do equivalente elétrico do calor. Por definição, segundo Sears e Zemansky (1973), podemos escrever o campo eletrostático em função da densidade de corrente, segundo a equação (3.3.1) seguinte:

$$\vec{E} \equiv \rho \vec{J},$$

sendo ρ a resistividade do material condutor. Seja $d\vec{s}$ um elemento de comprimento de um condutor. Então:

$$\begin{aligned}\vec{E} \cdot d\vec{s} &= \rho(\vec{J} \cdot d\vec{s}) \\ \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{s} &= \rho \int_a^b \vec{J} \cdot d\vec{s}, \quad (3.3.2)\end{aligned}$$

sendo \vec{J} e $d\vec{s}$ vetores paralelos e, portanto, $\vec{J} \cdot d\vec{s} = J ds = i \cdot ds/A$. Com estas substituições na equação (3.3.2), tem-se:

$$\begin{aligned}\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{s} &= \rho \frac{i}{A} \int_a^b ds \\ \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{s} &= \rho \frac{i}{A} L \\ \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{s} &= iR, \quad (3.3.3)\end{aligned}$$

sendo L o comprimento do condutor, A seção transversal uniforme do condutor, i a intensidade da corrente elétrica que atravessa o condutor e, finalmente, a resistência elétrica do condutor é dada em função de seus parâmetros geométricos:

$$R = \rho \frac{L}{A}. \quad (3.3.4)$$

A integral da equação (3.3.3) pode ser escrita em função da ddp (U) nas extremidades do condutor em função do segundo membro da igualdade. Então:

$$\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{s} = U. \quad (3.3.5)$$

Sendo a fonte, em nosso caso fonte chaveada AC/DC, e, assim, um condutor, temos um campo eletrostático (\vec{E}_e) e um campo não eletrostático (\vec{E}_n) tais que $\vec{E}_e = -\vec{E}_n$ (SEARS; ZEMANSKY, 1973). Para um circuito aberto, vem:

$$\begin{aligned} \vec{E}_e \cdot d\vec{s} &= -\vec{E}_n \cdot d\vec{s} \\ \int_a^b \vec{E}_e \cdot d\vec{s} &= -\int_a^b \vec{E}_n \cdot d\vec{s} \\ \int_a^b \vec{E}_e \cdot d\vec{s} &= \int_b^a \vec{E}_n \cdot d\vec{s} \quad (3.3.6) \end{aligned}$$

Definimos a força eletromotriz (ε) de acordo com o segundo membro da equação (3.3.6). Então:

$$\varepsilon \equiv \int_b^a \vec{E}_n \cdot d\vec{s}, \quad (3.3.7)$$

onde a ddp e a força eletromotriz (fem), para um circuito aberto, são iguais numericamente, mas com naturezas distintas, pois a ddp é produzida por um campo eletrostático, enquanto que a força eletromotriz é produzida por um campo não eletrostático.

Agora, ao fechar o circuito e considerando a fonte eletromotriz da fonte, no fio, o campo também é eletrostático. Então:

$$U = iR, \quad (3.3.8)$$

sendo R a resistência do fio que alimenta os terminais do calorímetro do nosso aparato. Na fonte, a corrente elétrica i é de b para a , isto é, do menor para o maior potencial. Então:

$$\int_b^a \vec{E} \cdot d\vec{s} = ir, \quad (3.3.9)$$

sendo r a resistência interna da fonte e $\vec{E} = \vec{E}_e + \vec{E}_n$ o campo elétrico resultante na fonte. Assim sendo, podemos escrever a equação (3.3.9):

$$\begin{aligned}
\int_b^a (\vec{E}_e + \vec{E}_n) \cdot d\vec{s} &= ir \\
\int_b^a \vec{E}_e \cdot d\vec{s} + \int_b^a \vec{E}_n \cdot d\vec{s} &= ir \\
-\int_a^b \vec{E}_e \cdot d\vec{s} + \int_b^a \vec{E}_n \cdot d\vec{s} &= ir \\
-U + \varepsilon &= ir \\
U = \varepsilon - ir &. \quad (3.3.10)
\end{aligned}$$

A equação (3.3.10) é denominada de Equação do Circuito. Fazendo a transposição para nosso organizador prévio, consideramos a fonte ideal e, conseqüentemente, sua resistência interna é desprezível. Logo,

$$U = \varepsilon. \quad (3.3.11)$$

Isso permite a obtenção da potência elétrica dissipada (P) pela resistência do calorímetro que é a mesma fornecida pela fonte ao circuito elétrico. De fato, ao multiplicar a equação (3.3.11) pela intensidade da corrente elétrica, vem:

$$\begin{aligned}
U &= \varepsilon \\
U \cdot i &= \varepsilon \cdot i \\
P &= \frac{dW}{dt}. \quad (3.3.12)
\end{aligned}$$

Assim sendo, podemos afirmar que a potência de saída da fonte (P) é equivalente a taxa de trabalho realizado sobre as cargas (dW/dt), submetidas a um campo não eletrostático, ao deslocá-las do menor para o maior potencial. Além do mais, a taxa anterior corresponde à conversão de energia não elétrica em elétrica. Então:

$$\begin{aligned}
\frac{dW}{dt} &= \frac{dE_{elétrica}}{dt} \\
P &= \frac{dE_{elétrica}}{dt}. \quad (3.3.13)
\end{aligned}$$

No calorímetro elétrico “semi-ideal” ou “quase ideal”, desprezamos as trocas de energia térmica com o meio externo, ou seja, assumimos que suas paredes são adiabáticas.

Contudo, o calorímetro (vaso calorimétrico) tem uma capacidade térmica. Aplicando o princípio da conservação da energia, temos:

$$\begin{aligned}
 dE_{elétrica} &= dQ_{calorímetro} + dQ_{água} \\
 P \cdot dt &= C \cdot dT + m \cdot c \cdot dT \\
 U \cdot i \cdot dt &= (C + m \cdot c) \cdot dT \\
 U \cdot i \cdot \int_0^{t_f} dt &= (C + m \cdot c) \cdot \int_{T_{inicial}}^{T_{final}} dT \\
 U \cdot i \cdot \Delta t &= (C + m \cdot c) \cdot (T_{final} - T_{inicial}), \quad (3.3.14)
 \end{aligned}$$

onde a dimensão da energia elétrica é dada em joules e a dimensão da quantidade de calor, transferida ao calorímetro e a água no intervalo de tempo considerado, é em calorias. Isto é, em função da diferença de temperatura entre a água no calorímetro (vaso calorimétrico) e sua resistência, existe uma transferência de energia térmica para água. Quanto ao calorímetro, pela diferença de temperatura com a água, também troca energia térmica com a água. Outra coisa importante é a necessidade de garantir o equilíbrio térmico entre a água e o calorímetro no início e no final do experimento, porque isso permite a mesma variação temperatura, compactando mais a equação final.

Conforme Tipler (1990), pensando em nível microscópico a respeito da elevação da temperatura da resistência do calorímetro elétrico, o efeito Joule provocado na resistência é devido as colisões dos elétrons com os íons da rede cristalina do condutor. A energia elétrica fornecida ao circuito elétrico, simplificado e tomando a fonte como ideal, é convertida em energia térmica (energia interna) do condutor. O autor explica que, com a aceleração das cargas do condutor, sua energia cinética cresce, porém, nas colisões no interior do condutor, essa energia cinética ganha pelos portadores de carga converte-se em aumento de sua temperatura.

Tipler (1990) ainda apresenta uma analogia muito didática para a compreensão do papel da fem (\mathcal{E}) no circuito elétrico simples. Para tanto, o autor utiliza um plano inclinado cheio de pregos. Assim como no interior de uma fonte de fem a energia de carga sai do menor para o maior potencial, isto é, experimentando um crescimento de sua energia potencial e dissipando energia por aquecimento, uma bolinha de gude colocada no topo de um plano inclinado tem uma diminuição de sua energia potencial, parte pelo aumento de sua energia cinética e parte pelas colisões com os pregos, até chegar a base do plano inclinado. Um garoto efetua um trabalho sobre a gude de erguê-las e recolocá-las novamente no topo do plano citado e, sendo assim, análogo ao que uma fonte de fem executa no circuito.

3.4 Aprimorando os Organizadores Prévios

O nosso produto educacional elegeu três organizadores prévios experimentais, dois expositivos e um comparativo, para a modificação e o enriquecimento da estrutura cognitiva dos estudantes centrada nos seguintes subsunçores: energia, calor, temperatura, trabalho e, finalmente, o equivalente mecânico do calor. O primeiro organizador OP1 é uma atividade experimental que permite obter a capacidade térmica do calorímetro a partir da troca de energia entre duas massas de água com temperatura distintas, sendo ancorada na conservação da energia. Em relação ao organizador OP2, é concebida para o desenvolvimento qualitativo de trabalho em transformações gasosas, bem como para apresentação conceitual do teorema trabalho-energia o que permite relacionar e diferenciar as grandezas energia e trabalho. Finalmente, o organizador prévio OP3 é um experimento que determina uma medida para o equivalente elétrico do calor ao fazer uso de um calorímetro com uma resistência acoplada. Todos esses organizadores passaram por um tratamento físico-matemático que pode ser consultado nas seções anteriores deste capítulo.

Dito isto, os organizadores prévios passaram por um longo processo de ajustes com o objetivo de apresentar medidas e resultados com um maior grau de precisão possível, mesmo levando em consideração que a nossa proposta, longe de validar o valor tabelado para o equivalente mecânico do calor através de um calorímetro elétrico, é explorar as divergências dos resultados obtidos a luz, por exemplo, do princípio da conservação da energia, em relação ao valor dos livros textos $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$. Contudo, dos três organizadores descritos, não houve com o OP2 um processo de aperfeiçoamento técnico, voltado para a obtenção de medidas precisas, um vez que essa atividade experimental é apenas calcada em abordagens conceituais e qualitativas. A seguir apontamos em detalhes as correções tomadas para aprimorar as atividades experimentais.

Em primeiro lugar, tentamos encontrar um valor razoável para a capacidade térmica do calorímetro por meio do organizador prévio expositivo OP1. O calorímetro elétrico teve sua resistência removida e passou a ser um simples calorímetro de mistura porque utilizamos duas massas diferentes de água a temperaturas distintas (GASPAR, 2000). Reproduzimos várias vezes a atividade experimental OP1 para determinar a capacidade térmica do calorímetro com a intenção de encontrar um valor razoável para essa grandeza física escalar que seria utilizada na aplicação do último organizador prévio na obtenção do equivalente mecânico do calor.

De acordo com o roteiro, a nossa maior preocupação era encontrar a temperatura de equilíbrio térmico entre as massas de água e o calorímetro. Para isso, era necessário aguardar um intervalo de tempo, entre 2 min a 5 min, até a coluna de mercúrio do termômetro

análogo se estabilizasse. Feito isso, encontramos, para a capacidade térmica do calorímetro, valores variando entre $32,2 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ até um máximo de $35,0 \text{ cal/}^\circ\text{C}$. Outros valores encontrados, a título de exemplos, foram $32,8 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ e $34,0 \text{ cal/}^\circ\text{C}$, sempre considerando uma temperatura ambiente entre 28°C e 29°C . Resolvemos adotar $33,0 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ para a capacidade térmica do calorímetro e usar esse valor ao longo de nossa sequência didática.

O organizador prévio comparativo OP3 passou por modificações importantes com o intuito de habilitá-lo para ser aplicado como parte de nosso produto educacional. Primeiro, a parte elétrica do circuito que incluía a resistência do calorímetro variava muito, tanto a intensidade da corrente elétrica como a diferença de potencial (ddp) nos terminais da resistência. Decidimos substituir a fonte AC/DC, 5 V e 2 A , por outra com as mesmas especificações, mas de marca distinta. Notamos que as oscilações da intensidade da corrente e da ddp continuaram, mas dentro de um intervalo menor de variação. Porém, essencialmente, os valores da ddp ficaram entre 4 V e 5 V e, com relação a corrente elétrica, após ter associado em série a resistência do calorímetro elétrico com o multímetro e reproduzido várias vezes esse arranjo, adotamos $1,14 \text{ A}$ para a sua intensidade. A Figura 3.2 exibi o esquema elétrico simplificado do aparato desse organizador. Um voltímetro associado em paralelo com a resistência do calorímetro elétrico, adotado como “semi-ideal” pelas trocas de energia entre a água aquecida e o vaso calorimétrico. Por outro lado, negligenciamos as trocas de energia entre o ar atmosférico (meio ambiente externo) e a amostra de água aquecida.

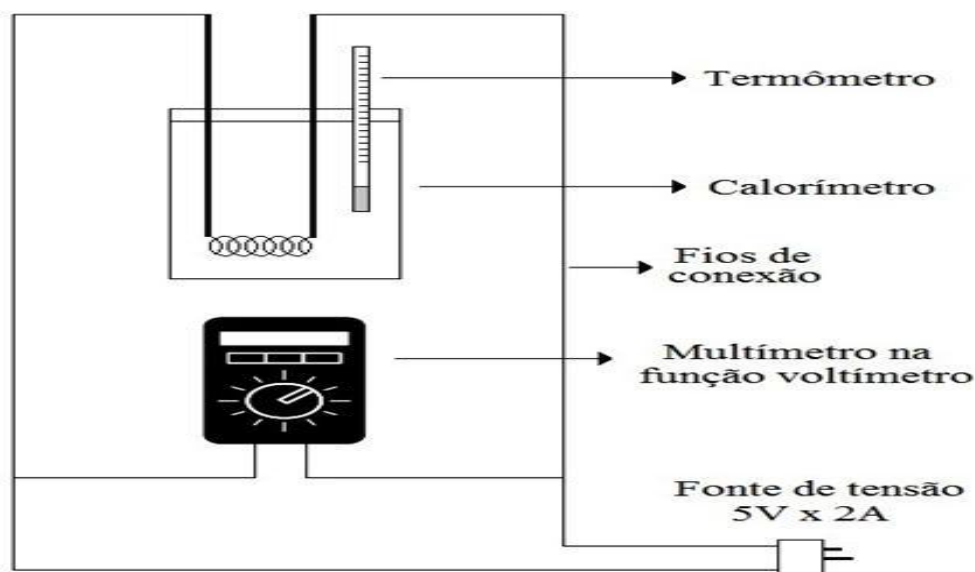


Figura 3.2: Esquema elétrico simplificado.

Ainda no organizador prévio OP3, concordamos em deixar a cargo dos estudantes a determinação da voltagem para a obtenção da potência dissipada pela resistência. Decidimos

por 4,5 V para diferença de potencial nos terminais da resistência com fins em realizar as contas para encontrar o nosso equivalente mecânico do calor com o uso do calorímetro elétrico. Outra modificação crucial foi à redução do intervalo de tempo em que o circuito ficava fechado, permitindo o aquecimento da água por efeito Joule. Começamos com 10 min a 20 min de intervalo de tempo para o circuito fechado e encontramos valores entre 6,145 J/cal a 8,194 J/cal para uma ddp de 4,5 V e uma intensidade de corrente de 1,27 A, pois esses valores são concernentes ao uso da primeira fonte elétrica, antes da substituição.

Em seguida, com a nova fonte, diminuimos o tempo para 5 min, ou seja, 300 s porque trabalhar com a modalidade de energia calor, já que existia uma diferença de temperatura entre a resistência aquecida e a água do calorímetro, é muito complicado, gerando constantes dissipações como, por exemplo, entre o ar da sala e a água aquecida. Os resultados obtidos por nós foram mais razoáveis e próximos, por excesso e por falta, do valor padrão internacional 4,186 J/cal. Já adotando 1,14 A para a intensidade da corrente, encontramos valores entre 3,882 J/cal e 4,500 J/cal, mais interessantes que os anteriores, uma vez que, longe de validar o valor encontrado por Joule, as perdas de energia para o meio ambiente são mais razoáveis quando, por exemplo, a diferença de temperatura existente entre o sistema água-calorímetro e o ar do ambiente da vizinhança gera um fluxo térmico dissipativo, além das perdas ôhmicas pelos fios de conexão do circuito elétrico.

Quanto aos valores excedentes para o equivalente elétrico do calor, à luz do princípio da conservação da energia, concluímos que poderia ter havido algum incremento de energia digamos, a radiação vinda da vizinhança do sistema água-calorímetro, que não foram subtraídas por nós e, principalmente, as limitações do nosso aparato nesta atividade experimental que não apresentava resultados precisos da ddp e da intensidade da corrente elétrica. Dito isto e tomando os devidos cuidados em determinar a temperatura final de equilíbrio térmico, como recomendado no roteiro desse organizador prévio, concluímos que nosso conjunto de atividades experimentais envolvendo medições diretas da temperatura e da ddp, estavam aptos para serem executados pelos estudantes.

É importante frisar que todo esse processo de aperfeiçoamento de nossas atividades experimentais nos ajudou a construir as nossas abordagens em relação a cada organizador prévio. Queremos dizer com isso que resolvemos tomar as nossas dificuldades em determinar a capacidade térmica do calorímetro e o equivalente mecânico do calor, pelo seu análogo elétrico, como possíveis obstáculos que os educandos vão passar e, partir delas, construir condições desafiadoras e não usuais ao longo da realização das atividades, principalmente nos questionários e na oralidade para explicar os fenômenos físicos. Além disso, os estudantes, ao enfrentarem essas dificuldades, se familiarizam com o fazer ciência, de seu processo gradual e recheado de erros, longe dessa concepção de uma ciência imediata e

perfeita (MONTEIRO JÚNIOR; MEDEIROS, 1999; MEDEIROS; MONTEIRO JÚNIOR, 2001; GIL-PEREZ *et al.*, 2005; QUEIRÓS *et al.*, 2014; QUEIRÓS *et al.*, 2019).

Seguidamente, vamos abordar a aplicação do produto na Escola São Miguel e, no capítulo posterior, fazer uma análise dos resultados a luz da aprendizagem significativa de Ausubel. Ademais, para uma maior apreensão da aplicação da sequência didática investigativa que desenvolvemos na Escola São Miguel, sugerimos uma consulta ao Apêndice A que descreve com toda riqueza de detalhes nosso produto educacional com os organizadores prévios evocados.

Capítulo 4

A Aplicação do Produto Educacional

Este capítulo é composto por três seções que fornecem muitos detalhes da aplicação do produto educacional na Escola São Miguel. Para tal, um grupo de estudantes do 2º ano do ensino médio se voluntariou. Assim, na primeira seção, tratamos do início da aplicação, particularmente das primeiras duas etapas da sequência. A segunda seção explica a parte final da 2ª ETAPA e todo o desenvolvimento da 3ª ETAPA. Para finalizar este capítulo, na terceira seção, abordamos a implementação da última etapa da sequência didática. Contudo, antes de adentrar nas seções elencadas, é feito um balanço dos conteúdos de física térmica trabalhados em sala e que precederam a aplicação do nosso produto educacional.

Uma sondagem prévia foi feita com a turma e identificamos conhecimentos relacionados a termometria tais como conversões entre as escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin, tópicos da calorimetria como calor sensível e latente, bem como aspectos sobre mudança de fase e processo de propagação de calor também foram evidenciados. Este era o quadro inicial quando o autor desta pesquisa assumiu a turma em 2018. Na sequência, resolvemos conduzir um trabalho em grupo envolvendo toda a turma cujo objetivo era pesquisar e elaborar um texto a respeito do equivalente mecânico da caloria, seu desenvolvimento histórico e o protagonismo de Joule na obtenção desse fator de conversão. Obviamente que nossa intenção era impulsionar e direcionar a turma para futura implementação da sequência, tendo vista que o produto e a dissertação estavam em andamento.

A solicitação dessa pesquisa histórica em torno do equivalente mecânico do calor foi acompanhada de uma breve exposição do funcionamento do calorímetro de pás, seus elementos básicos e as formas/modalidades de energia ligadas a execução do famoso aparato. Essencialmente, salientamos a constituição do interior do calorímetro, com suas pás fixas e móveis, o trabalho mecânico do giro das pás com a queda das massas, do resultante atrito das pás com a água que aumentava sua temperatura, bem como a cadeia energética que circundava o ciclo de operação do experimento. Neste último quesito, explicamos que a energia potencial gravítica (energia potencial de gravidade) era “liberada” com a queda das massas, sendo esta queda com velocidade quase constante pelo papel desempenhado pelas pás fixas. Por conseguinte, o sistema “massas-Terra” se reconfigurava e, sendo assim, uma parte dessa energia gravítica desembocava em energia cinética das massas (pelo seu movimento) e outra parte era o trabalho mecânico das pás móveis. Por fim, com a agitação da

água e sua subsequente elevação de temperatura, indicava uma energia térmica ou interna (CARMO *et al.*, 2000; CARVALHO; GOMES, 2014).

Ainda no âmbito do experimento de Joule, a Figura 4.1 permite uma visão parcial do calorímetro das pás construído pelo cientista inglês James Prescott Joule para a realização de seus experimentos na busca pela relação entre calor e trabalho. Nesta figura, extraída do interessante trabalho de Carmo *et al.* (2000, p. 3), destacamos aspectos do interior do calorímetro, a saber, suas intrincadas pás (fixas e móveis) conectadas ao eixo da manivela. Também é possível notar na tampa superior do calorímetro dois furos: um para entrada do mencionado eixo e outro para o encaixe do termômetro para registrar as variações de temperatura da água quando atritada pelas pás. Na Figura 4.2, também extraída da pesquisa de Carmo *et al.* (2000, p. 5), o leitor tem uma visão externa do equipamento de Joule. De acordo com os autores, se trata de uma réplica do aparato de Joule localizada em Oldenburg, Alemanha. É possível perceber as duas polias, o calorímetro no centro e as duas massas idênticas (blocos pretos) em suspensão, ou seja, presas a fios que se enrolam ao eixo da manivela analogamente a uma bobina.

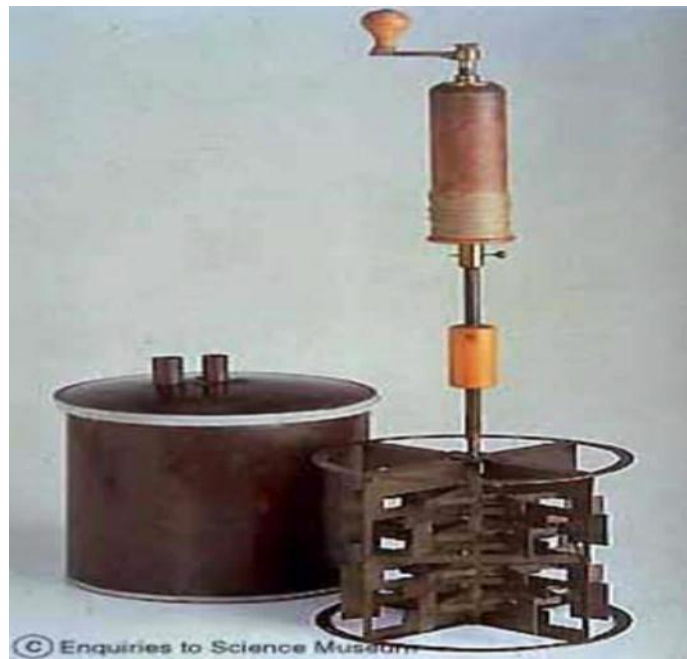


Figura 4.1: Calorímetro e suas pás fixas e móveis.



Figura 4.2: Réplica do aparato de Joule.

No decorrer do ano letivo, ainda precedendo a aplicação do nosso produto, ressaltamos o estudo dos gases com ênfase em grandezas macroscópicas como pressão, temperatura e volume, como também em transformações gasosas usuais que permeiam essas três variáveis, a saber as transformações isotérmica, isovolumétrica e isobárica. O itinerário dos tópicos da física térmica também foi composto por discussões em torno da equação de Clapeyron e da lei geral dos gases ideais. Na sequência, na iminência da conclusão do produto, introduzimos as primeiras noções de termodinâmica com conceitos tais como energia interna, trabalho, calor e quantidade de calor lançando mão do modelo de gás ideal e das transformações gasosas previamente abordadas.

O tratamento dado aos tópicos da física térmica eram sempre interligados ou interdependentes. A título de constatação, ao explorar as interpretações gráficas de transformações gasosas isotérmicas, caracterizadas por uma mudança de estado termodinâmico com temperatura invariante do gás, segundo a lei de Boyle, a pressão do gás é inversamente proporcional ao volume. Isto significa, a nível molecular, que quando aumentamos a pressão do gás também aumentamos as colisões de suas moléculas ou partículas com as paredes do recipiente, no entanto, sem variar sua temperatura. Assim, sua energia interna ou térmica permanece invariante, conforme o modelo cinético-molecular adotado, muito embora o gás seja comprimido e seu volume diminuído. Quer dizer, conceitos

aparentemente distantes tais como pressão e energia, são articulados e unidos, enriquecendo a estrutura cognitiva dos alunos.

Ainda complementando o exemplo anterior, transformações isotérmicas podem ser integradas com os conhecimentos dos estudantes a respeito da modalidade de energia calor. Considerando que as paredes do recipiente permitem trocas de energia entre o sistema (gás) e sua vizinhança (meio externo), como garantir que a temperatura permaneça a mesma? Este questionamento evoca os fundamentos teóricos da termodinâmica como energia interna, calor e trabalho para o âmbito das transformações gasosas. Por um lado, para o gás manter sempre a mesma temperatura, sua energia interna deve permanecer constante. Por outro lado, toda energia em trânsito para o gás (calor) deve “converter-se” em trabalho mecânico, como, por exemplo, ao empurrar um êmbolo, muito embora o processo termodinâmico debatido não seja cíclico, pois do contrário violaria a segunda lei da termodinâmica. Ademais, o volume do gás aumenta e sua pressão decresce. Em uma perspectiva microscópica, ao fornecer energia ao gás (via calor), aumentamos sua energia cinética que, pelas colisões, impulsiona o êmbolo, realizando trabalho na vizinhança. Nota-se novamente o diálogo entre o mundo molecular e grandezas como pressão, volume e temperatura, comunicando-se com conceitos como calor e trabalho, mesmo sem apresentar formalmente as leis da termodinâmica.

Diante deste panorama e certificados que os estudantes apresentavam noções elementares de energia, pressão, calor, temperatura, dentre outros conceitos da física térmica, decidimos submeter nosso produto a um grupo de estudantes voluntários, conforme será relatado na sequência.

4.1 Implementação da 1ª ETAPA e da 2ª ETAPA

Nosso produto teve início no final de novembro de 2018, aplicado num grupo voluntário do 2º ano da Escola São Miguel, vinculada à rede estadual de Pernambuco e localizada no bairro Alto do Mandu, em Recife/PE. Implementamos integralmente a 1ª ETAPA, que objetiva problematizar o subsunçor energia, seu princípio conservativo e suas formas/modalidades presentes no cotidiano e parte da 2ª ETAPA na qual os subsunçores calor e temperatura são explorados por meio da realização de nossa primeira atividade experimental vinculada ao organizador OP1. Esse encontro totalizou duas horas/aula de 100 min e, conforme veremos adiante, a gênese de nossas abordagens eram os conhecimentos prévios e espontâneos emanados pelo grupo de estudantes concernente aos subsunçores mencionados.

O grupo que se voluntariou estava completo e totalizava 7 estudantes, mas a maioria não tinha instalado os aplicativos relacionados à primeira atividade experimental (OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO). Nas dependências da escola tem uma biblioteca espaçosa e que foi escolhida como o local para realização dos experimentos, além da cozinha da escola. Esta última, pela ausência de um laboratório de ciências/física, a água precisaria ser aquecida e fizemos uso do fogão da cozinha como fonte térmica. Na biblioteca, espontaneamente os estudantes sentaram em círculo, em uma organização tipicamente freireana como mostra a Figura 4.3.



Figura 4.3: Estudantes sentados em círculo.

Em seguida, a 1ª ETAPA foi iniciada em torno da noção cotidiana de energia, isto é, o que o grupo de estudantes entendia de energia, suas modalidades ou mesmo suas concepções alternativas sem o rigor científico. As respostas foram bastante interessantes uma vez que as correspondências que eram feitas com a ideia de energia foram muito pertinentes. Por exemplo, uma estudante afirmou que eletricidade é energia. Neste momento, explicamos que a energia elétrica é mais uma modalidade de energia que está fortemente ligada ao nosso cotidiano, quando percebemos a enorme quantidade de equipamentos elétricos ao nosso redor. Observe que este conceito intuitivo de energia possibilita, juntamente com outras conceituações de energia potencialmente significativas, a construção de uma aprendizagem combinatória, na medida em que se tenha por objetivo ampliar o saber de seu conceito, modificando sua estrutura cognitiva e ampliando sua base subsunçora (MOREIRA, 1999).

Outra estudante disse que uma lâmpada está ligada ao conceito de energia, ou seja, uma lâmpada é alimentada por uma fonte elétrica. As modalidades de energia envolvidas em uma lâmpada foram abordadas por nós. Explicamos que, basicamente, o funcionamento de uma lâmpada ocorre por meio da transformação de energia elétrica em energia luminosa, como também em calor, e, assim, que luz também transporta energia.

As discussões se prolongaram quando foi levantada pelos estudantes, a relação entre energia e o funcionamento de um ar condicionado que refrigerava a sala da biblioteca. Questionamos ao grupo, primeiramente, o motivo desse equipamento ficar na parte superior da sala. O grupo reagiu bem, afirmando que, o ar mais frio desce e, assim, é substituído pelo ar mais quente, menos denso. Complementando, falamos que se tratava de um processo de propagação de calor conhecido como correntes de convecção e que, em breve, este processo estaria presente no aquecimento da água para a determinação da capacidade térmica do calorímetro (MARQUES; ARAÚJO, 2009). Por conseguinte, acrescentamos que existem outras formas de energia como, por exemplo, a energia cinética que está associada ao movimento dos corpos, a energia potencial de gravidade relacionada à posição dos corpos em relação ao solo, a energia presente nos alimentos e, que tem os nutrientes absorvido pelas células de nosso corpo, transforma-se essencialmente em energia mecânica que ajuda em nossas atividades cotidianas (PIETROCOLA *et al.*, 2010).

O subsunçor trabalho, que de acordo com a sequência didática deveria ser trabalhado paralelamente ao subsunçor energia, não ganhou muito espaço nessas primeiras aulas correspondentes à 1ª ETAPA e à 2ª ETAPA. Em um breve momento, dissemos que, mesmo para físicos profissionais com o calibre de Feynman (1999), o conceito atual de energia segue com suas limitações e que, uma definição razoável, seria compreender a energia como a medida da capacidade de realização de trabalho (BONJORNIO *et al.*, 1997). De acordo com Moreira (1998), essa definição operacional de energia apresenta problemas, pois, da maneira como foi colocada, violaria seu princípio conservativo. Mas, mesmo sendo energia um conceito sem uma definição (MOREIRA, 1998) como carga elétrica ou o tempo, resolvemos mantê-la já que, para nós, para o fortalecimento do subsunçor energia, evocaria o teorema do trabalho-energia ou o teorema da energia cinética responsável por relacionar trabalho de uma força resultante com a ideia de energia cinética (RESNICK; HALLIDAY, 1983).

Além disso, mesmo sabendo que energia e trabalho estão relacionados, frisamos que a energia é invariante, isto é, se conserva, de acordo com o princípio da conservação e que, antes e depois de analisado algum fenômeno físico em um sistema isolado, sua quantidade é a mesma (RESNICK; HALLIDAY, 1983; FEYNMAN, 1999; HEWITT, 2002). Porém, como a sequência didática tem essa vantagem de ser extremamente flexível, esse subsunçor seria

resgatado na 3ª ETAPA com o roteiro OP2 – TRABALHO DE UM GÁS e relacionado com o subsunçor energia.

Seguindo a sequência didática, o grupo estava impaciente e queria iniciar a 2ª ETAPA com o organizador prévio OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO. Antes, provocamos um novo debate em torno da ideia de calor para abrir as portas de como esse subsunçor se diferencia e também se reconcilia ao de temperatura. Nesta etapa trabalhamos, visando o enriquecimento da estrutura cognitiva dos estudantes, os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora com os subsunçores calor e temperatura já que eles apresentam uma forte relação, porém, por outro lado, também se distinguem como veremos mais adiante de acordo com nosso relato (MOREIRA, 2012).

Continuando nosso relato dessa etapa, uma estudante questionou se calor existia de fato. Uma maneira simples e curiosa que provocamos foi solicitar que cada um do grupo esfregasse uma mão contra a outra e explicasse o que sentiam, como mostrado na Figura 4.4. Antes de seguir com as impressões dos estudantes sobre essa atividade prática é relevante perceber que, ao atritar as mãos, a energia interna das mãos aumenta ou, como convencionado anteriormente no capítulo 1, energia térmica das mãos dos estudantes aumentou e, portanto, sua temperatura. Como existia uma diferença de temperatura entre as mãos aquecidas e o ar atmosférico ao redor, então energia foi cedida para o ar da sala, ou seja, uma energia em trânsito e, assim, calor.



Figura 4.4: Estudantes atritam as mãos.

Perguntados sobre o que sentiam, foi quase uma unanimidade de que as palmas tinham aquecido por atrito. Portanto, uma troca de energia entre as palmas aquecidas e o ar atmosférico da sala mais refrigerada. Nesse momento, argumentamos que calor é a energia em trânsito que se dá, exclusivamente, pela diferença de temperatura entre corpos (HEWITT, 2002), ou seja, calor é o fluxo de energia térmica que passa espontaneamente de um corpo,

com temperatura maior, para outro corpo com temperatura menor, enquanto existir essa diferença de temperatura entre os corpos. Uma estudante perguntou se seria correto afirmar se um determinado corpo tem calor. Explicamos que essa concepção é equivocada, por mais que seja usual em nosso dia a dia, e que um corpo pode ter uma quantidade de calor, isto é, uma quantidade total de energia transferida (SILVA; LABURÚ; NARDI, 2008), porém, jamais conter calor (AXT; BRÜCKMANN, 1989). Entretanto, um corpo tem uma determinada temperatura já que contém uma energia interna armazenada (MOREIRA, 1998).

Também foi explicado ao grupo que o conceito de calor foi historicamente construído e, por conseguinte, teorias equivocadas foram sustentadas por grandes nomes da ciência, segundo Pietrocola *et al.* (2010). A teoria do calórico, iniciada pelo químico francês Lavoisier (1743-1794) e teorizada por Black (1728-1799), o calor é compreendido como um fluido invisível que migrava de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura, e a teoria do flogístico, que afirmava que o flogístico era uma substância liberada pelos corpos em combustão, foram evocadas com o intuito de alimentar o debate, fortalecendo a ideia de que a ciência é feita por pessoas, uma construção social, bem como política, sendo passível a reformulações e autocríticas quando submetidas a novas situações (MEDEIROS; MONTEIRO JÚNIOR, 2001; BUCUSSI, 2006; KUHN, 2007; MONTEIRO JÚNIOR; MEDEIROS, 2009, p. 3; PIETROCOLA *et al.*, 2010; QUEIRÓS *et al.*, 2014; QUEIRÓS *et al.*, 2019). Neste contexto, Bucussi (2006) faz um trabalho interessante ao trazer pormenores históricos a respeito da concepção de energia e seu desenvolvimento, que inclui as noções de calórico e do flogístico, além das contribuições de personagens importantes da ciência para a compreensão da concepção de energia como Descartes (1596-1650) e Leibniz (1646-1716).

A atividade experimental, um organizador prévio expositivo (OPI) para determinação da capacidade térmica do calorímetro, foi iniciada com uma breve, mas importante explanação do papel de um calorímetro. Ele foi desmontado pelos próprios estudantes, que se surpreenderam com o fato do isopor em seu interior ter uma folga considerável, chegando ao ponto de afirmarem que o calorímetro estava com defeito. Prontamente foi explicado que essa folga foi proposital e se devia ao fato de o ar ser um péssimo condutor térmico e, portanto, diminuía as perdas de energia para o meio externo. O alumínio polido, da parte externa do calorímetro, foi concebido para refletir a radiação vinda da vizinhança e, assim, diminuir os incrementos de energia ao sistema. Depois, uma estudante começou a leitura do roteiro, apresentando os objetivos e o material que seria utilizado neste experimento.

O primeiro passo do procedimento era medir a temperatura ambiente por meio do aplicativo **Smart Thermometer**, pois, em se tratando de uma sequência investigativa no ensino de física, é importante incluir recursos tecnológicos tão familiares aos estudantes na contemporaneidade. Os celulares, com esse aplicativo, indicavam um valor em torno de 29

°C. Por outro lado, uma estudante tinha instalado outro aplicativo que indicava uma temperatura ambiente em torno de 36 °C. O grupo discutiu os valores e acharam mais razoável 29 °C, pois coincidia com os demais valores encontrados. Sobre o aplicativo utilizado nesse experimento, foi dito que, os dados sobre a temperatura ambiente, eram fornecidos por meio de serviços climatológicos que também disponibilizavam a pressão atmosférica local.

O segundo passo era fazer uso da proveta, do calorímetro e do seu termômetro analógico, graduado na escala Celsius, para realizar a medição da temperatura de equilíbrio, entre a água e o calorímetro e mensurar os volumes das amostras de água. O grupo não conhecia os instrumentos e, então, foi feita uma rápida explicação sobre seu uso e manuseio como ilustrado na Figura 4.5. O volume de água na proveta que foi derramado no calorímetro, colocado pelos estudantes e verificado por todos, foi de 70 mL e, assim, uma massa de 70 g, conforme é especificado pelo terceiro passo do roteiro e ratificado por todos do grupo. Porém, como esta água tinha sido retirada de um bebedouro gelado, então a coluna de mercúrio do termômetro se contraiu, inviabilizando a leitura do mesmo. Constatado isto, uma nova amostra de água de 70 mL, retirada de uma torneira no banheiro, foi colocada no calorímetro e, aguardado um intervalo de tempo de aproximadamente 6 min, com o uso do aplicativo **Hybrid Stopwatch & Timer**, o grupo determinou uma temperatura de equilíbrio inicial, entre a massa de 70 g de água e o calorímetro, igual a 27,8 °C.



Figura 4.5: Estudantes manuseiam a proveta com água.

O quarto passo, referente ao procedimento do organizador prévio OP1, diz respeito a colocar 100 mL de água na proveta. Outro grupo menor, formado por três estudantes que não tinham participado do segundo passo anterior, foi escolhido para mensurar esse volume de água com o uso da proveta. Feito isso, todo o grupo se certificou que a medida conferia com a pedida pelo roteiro e que, portanto, essa massa correspondia a 100 g. O aquecimento desta

massa de água, ainda no quarto passo do roteiro, foi conduzido por nós, já que envolvia o manuseio de fontes térmicas. Um pequeno grupo de quatro estudantes foi, com um bule e uma garrafa térmica mostrados na Figura 4.6, em direção à cozinha da escola para fazer uso do fogão.

É importante lembrar que, no bule, encontravam-se as 100 g de água. Em seguida, ao atingir seu ponto de ebulição, essa massa de água foi rapidamente colocada na garrafa térmica, que assim como nosso calorímetro, tinham o objetivo de minimizar as perdas de energias para o ar atmosférico. Essa atitude foi objeto de problematizações quando o grupo voltou a se reunir na biblioteca, pois uma estudante questionou o porquê de transportar, em uma garrafa térmica, e não utilizar o próprio bule. Uma parte do grupo explicou justamente o que foi supracitado, isto é, uma garrafa térmica funciona com um calorímetro, diminuindo o máximo possível às dissipações de energia para a vizinhança.



Figura 4.6: Garrafa térmica e bule.

É interessante trazer à tona um ponto importante a respeito do uso da cozinha da escola e da garrafa térmica para a realização desse experimento que poderia ser evitado com a utilização de uma chama de bico de Bunsen e uma tela metálica para distribuir a energia fornecida pela chama do bico. A maioria das escolas públicas brasileiras carece de laboratórios de ciências apropriados e que poderiam evitar malabarismos por parte dos docentes nessa área como, por exemplo, usar a cozinha da escola ou mesmo transportar água aquecida em uma garrafa térmica. Dando continuidade à aplicação do experimento OP1, a água foi despejada no calorímetro e, logo em seguida, ao tampar o calorímetro, os estudantes acompanharam o aumento imediato da coluna de mercúrio do termômetro analógico conforme é exibido na Figura 4.7. Uma das estudantes aferiu um tempo de 5 min, aproximadamente, para encontrar o equilíbrio térmico final entre a massa de 70 g, a massa de 100 g e o próprio calorímetro. Em um caloroso debate entre os integrantes do grupo foi definida uma temperatura final de equilíbrio térmico igual a 53,5 °C, acompanhada e verificada por nós.



Figura 4.7: Estudantes aferindo a temperatura final de equilíbrio.

O penúltimo passo tratava-se de aplicar o princípio da conservação da energia por meio do princípio geral das trocas de calor, como é conhecido na maioria dos livros textos de Física na educação básica (CALÇADA; SAMPAIO, 1998; GASPAR, 2000; BÔAS *et al.*, 2010b). Com todos os dados recolhidos, foi recomendado que os estudantes utilizassem as calculadoras de seus próprios celulares e o grupo começou a substituir os valores encontrados na equação disponibilizada no próprio roteiro e encontraram, aproximadamente, 111 cal/°C para a capacidade térmica do calorímetro. Neste momento o grupo não demonstrou dificuldades matemáticas em operacionalizar os dados obtidos.

Ainda em relação a primeira pergunta, os estudantes fizeram um correto uso da equação fornecida ao isolar a capacidade térmica do calorímetro (vaso calorimétrico), resultante do princípio da conservação da energia no qual a parcela relacionada as trocas de energia entre o calorímetro e o meio externo deve ser desprezada ($Q_{ambiente} = 0$), contudo, a água troca energia com o calorímetro (vaso calorimétrico) e, sendo assim, denominado “semi-ideal”, de acordo com Cosentino e Rios (2020). Note também que o princípio da conservação da energia ganha outra “roupagem” nessa etapa, sendo mais conhecido como “princípio das trocas de calor” pelos livros didáticos.

Assim, resolvemos manter o resultado encontrado pelos estudantes para a capacidade térmica do calorímetro elétrico mesmo sabendo que estava adulterado, em relação ao encontrado por nós previamente, em função do aquecimento da amostra de 100 g de água no fogão da cozinha da escola e de seu transporte, da cozinha para a biblioteca, na garrafa térmica. Essa proposta de sequência didática prioriza as discussões e problematizações em torno das discrepâncias do resultado encontrado pelo grupo e o valor tabelado do equivalente mecânico do calor e, portanto, não existia uma grande preocupação em validar a igualdade $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$, correspondente ao valor tabelado internacional (GASPAR, 2000). Quer dizer, conforme salientado anteriormente, este produto não foi concebido como um conjunto de

atividades experimentais de verificação com intenção de validar o fator de conversão 4,186 J/cal, mas exclusivamente investigar as razões ou motivos que produzem tamanhas diferenças nos resultados a partir de um viés energético. Entretanto, isso não implica em negligenciar a parte experimental da sequência didática de tal modo que, de acordo com as conveniências do docente, os organizadores prévios propostos podem ser refeitos pelos aprendizes.

Encerrada as atividades, acordamos que a conclusão da 2ª ETAPA teria prosseguimento no próximo encontro e que também seria aplicado o segundo organizador prévio correspondente a 3ª ETAPA.

4.2 Continuação da 2ª ETAPA e Implementação da 3ª ETAPA

Nesta seção descrevemos o andamento do produto com a continuação da resolução dos problemas da 2ª ETAPA e, na sequência, a implementação da 3ª ETAPA caracterizada pelo enfoque no subsunçor trabalho lançando mão do estudo de transformações gasosas adiabáticas, assim como da diferenciação e relacionalidade com o conceito subsunçor energia, sempre salientando os conhecimentos prévios do grupo. Este encontro consumiu ao todo uma hora/aula de 50 min.

Prosseguindo com o produto educacional, a segunda pergunta era de suma importância já que os subsunçores calor e temperatura deveriam ser diferenciados, mas também, a partir da obtenção da capacidade térmica do calorímetro, deveriam ser conciliados uma vez que, a definição de calor comumente aceita nos livros textos exige uma diferença de temperatura entre os corpos envolvidos. O grupo apresentou dificuldades neste momento e, nas poucas análises feitas por eles, a noção confusa e equivocada entre calor e temperatura era evidente. Por exemplo, uma aluna afirmou que sentia calor ao ir à praia em função da radiação solar. Prontamente, argumentamos ao grupo que a radiação térmica era uma forma de propagação de calor, mas, o fisicamente correto, é a pessoa dizer que está a uma temperatura alta porque um corpo não pode armazenar calor, ou seja, a matéria não pode armazenar calor (HEWITT, 2002).

O debate se estendeu quando explicamos novamente ao grupo que calor é a energia transferida entre dois corpos em função, exclusivamente, da diferença de temperatura entre eles (CABRAL; LAGO, 2004b). Logo em seguida, perguntamos ao grupo, como essa definição se relacionava com o experimento que eles tinham executado anteriormente. Foram poucas as conexões, porém o grupo reconheceu que as medidas da temperatura das massas de água realizadas por eles indicavam possíveis trocas de energias entre essas massas e também o calorímetro, pois o grupo tinha encontrado sua capacidade térmica. De fato, já que, diferentemente do que é apregoado pelos livros didáticos quando a temática é calor, não existe calorímetro com capacidade térmica nula ou desprezível e, assim, todo calorímetro troca energia. Por outro lado, essas possíveis trocas de energia, reconhecendo a diferença de temperatura desses corpos, é calor.

O momento seguinte abriu as portas para entrar, com mais destaque e evidência, com o subsunçor temperatura. Perguntado ao grupo o que eles compreendiam sobre o conceito de temperatura, a maioria associava essa grandeza a calor. Isto é, novamente esses conceitos são objetos de confusão pelos estudantes porque são, por natureza, imbricados. Uma aluna acessou a internet de seu celular, em uma atitude não prevista por nós, e leu em voz alta a definição, que ela encontrou, de temperatura de um objeto, mas, perguntado ao grupo o

significado dessa definição, o grupo não assimilou aquela definição rapidamente. Aproveitamos para lembrá-los que, anteriormente, no organizador prévio expositivo OP1, eles tinham realizados medições da temperatura de equilíbrio entre as massas de água e o calorímetro. Portanto, a temperatura era uma medida associada ao grau de agitação dos átomos e moléculas que constituem um corpo (CABRAL; LAGO, 2004b) e, por conseguinte, quanto maior esse grau de agitação das partículas, maior é a temperatura de um corpo ou objeto. Dito isto, lembramos ao grupo que, mesmo aumentando a energia térmica ou interna de um corpo, a temperatura desse corpo pode permanecer constante quando, exemplificando, a água foi aquecida até 100 °C e entrou em um processo de vaporização e, portanto, de mudança de fase a uma pressão constante de 1 atm (MOREIRA, 1998; MARQUES; ARAÚJO, 2009).

Novamente, o grupo foi instigado a fazer as correspondências entre a definição de temperatura e o experimento OP1. Uma estudante declarou que a água aquecida a 100 °C apresentava um maior grau de agitação de suas moléculas do que a outra massa inicial de água (70 g) já que estava a uma temperatura menor e igual a 27,8 °C. Por fim, o grupo discutiu os significados destes subsunçores, calor e temperatura, e apresentaram respostas como “calor é a troca de energia entre dois corpos de diferentes temperaturas” e “temperatura é o grau de agitação das moléculas”.

Nota-se claramente que a segunda pergunta não foi bem compreendida pelo grupo, pois as definições foram apresentadas rigidamente mesmo admitindo sua exatidão conceitual, muito embora sem apresentar uma devida argumentação, como, por exemplo, enquanto calor é uma forma de energia que não pode ser aprisionada em um objeto (HEWITT, 2002), a temperatura é uma medida do nível de agitação das partículas de um objeto, porém, diferentemente da noção de calor, um corpo tem uma determinada temperatura e energia interna. Segundo Moreira (2012), a aprendizagem mecânica é literal, arbitrária e sem significados. O grupo, mesmo submetido a uma situação nova, registrou uma solução com as características de uma aprendizagem mecânica, mas, na parte oral, o mesmo grupo apresentou avanços, que se aproxima de uma aprendizagem significativa, ao, por exemplo, associar o aumento de temperatura ao crescimento do grau de agitação das partículas da água aquecida.

Ademais, a segunda questão prima pelo desenvolvimento conceitual dos estudantes. De fato, enquanto calor é energia em trânsito entre um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura, temperatura é uma medida macroscópica associada à energia armazenada em um corpo, muito embora um corpo não pode conter calor, porém registre uma temperatura. Além do mais, o problema evocado exige uma maior percepção da diferenciação conceitual entre calor e temperatura por parte dos estudantes uma vez que, considerando a

impossibilidade da existência de um calorímetro ideal, a diferença de temperatura entre o ar da sala (T_{amb}) e a temperatura final de equilíbrio da água (T) gera um fluxo dissipativo por condução térmica, retirando energia do sistema água-calorímetro desde que $T > T_{amb}$, ainda que o calorímetro tenha paredes de alumínio polido para refletir o máximo de radiação externa, elaborado para um isolamento térmico mais eficiente das paredes externas do calorímetro.

No entanto, o esquecimento do grupo da segunda parte relacionada ao segundo problema, que solicitava uma explicação sobre como a diferença de temperatura entre a água no calorímetro e o ar da biblioteca poderia interferir no resultado da capacidade térmica, talvez indicasse certa obliteração dos subsunçores debatidos. Neste momento o grupo não conseguiu esboçar uma resposta satisfatória e, conseqüentemente, associar à modalidade de energia calor a diferença de temperatura entre a água no calorímetro e o ar da biblioteca. O esperado por nós, supondo uma progressiva aprendizagem significativa, era que o grupo argumentasse que, se existia de fato uma diferença de temperatura entre a água do calorímetro e o ar da sala, um possível fluxo térmico poderia provocar perdas de energia e alterar o resultado da capacidade térmica do calorímetro, mesmo que sejam mínimas essas perdas.

A 3ª ETAPA com o organizador prévio OP2 teve sua gênese com uma pergunta dirigida ao grupo no que tange à ideia de trabalho de uma força, ou seja, o que o grupo entendia por trabalho, quais noções esse conceito lhe trazia à mente. Em uma perspectiva ausubeliana devemos enfatizar, antes de continuar com os relatos da 3ª ETAPA, que as concepções prévias dos educandos são pontos de partida para a introdução de novos conhecimentos por ancoragem e subordinação do que o aprendiz já sabe com o que deveria saber, ampliando seu arcabouço cognitivo (MOREIRA, 1999).

As primeiras afirmações do grupo associavam trabalho ao suor, ou a algum tipo de esforço físico ou mesmo mental. Ao falar desse subsunçor, destacamos que trabalho de uma força, do ponto de vista da física, é um processo de variação de energia e que, portanto, energia e trabalho estão imbricados, isto é, de acordo com a definição padrão e operacional, encontrada na maioria dos livros textos utilizados na escola média, energia é a medida da capacidade que um sistema tem de realizar trabalho (BONJORNIO *et al.*, 1997; MÁXIMO; ALVARENGA, 1997; BONJORNIO *et al.*, 1999; CABRAL; LAGO, 2004a). Continuando a argumentação, tentamos resgatar conceitos de mecânica ao perguntar sobre o teorema da energia cinética, que relaciona a variação de energia cinética de uma massa, adotada como sistema, ao trabalho da força resultante, e também tratamos de um exemplo bem trivial: o trabalho da força peso. O grupo, mesmo sendo estudantes do 2º ano, não tinham nenhuma recordação ou fundamentos nesse teorema que é abordado no 1º ano do ensino médio.

Prontamente argumentamos que, qualitativamente e sem remeter a noção de forças internas e externas, esse teorema afirma que, se a energia cinética de uma partícula diminui então a força resultante tem um sentido contrário ao do deslocamento da partícula e, assim, a força resultante dificulta o deslocamento da partícula reduzindo sua velocidade. Neste caso dizemos que o trabalho da força resultante na partícula é resistente ou negativo. Analogamente para o crescimento da energia cinética e o trabalho motor ou positivo da resultante das forças na partícula (RESNICK; HALLIDAY, 1983; BÔAS *et al.*, 2010a).

Concernente ao trabalho da força gravitacional, usando o chão da biblioteca como nível de referência, nós deslocávamos paralelamente à mesa e, portanto, ao chão, e sem perder o contato com ela, o calorímetro e perguntávamos ao grupo se existia realização de trabalho da força peso. O grupo, por unanimidade, disse que sim, pois o calorímetro se deslocava. Então, explicamos que, para a força peso, o deslocamento deveria ser na vertical ou de uma maneira que gerasse um desnível, uma altura, em relação à mesa. Logo, o peso do calorímetro não realizava trabalho porque o deslocamento não era paralelo à força peso, ou seja, o peso era perpendicular ao deslocamento.

A concepção física de trabalho de uma força se contrapõe a noção usual das pessoas em seu dia a dia. Moreira (1998) ilustra uma situação em que, em geral, quando uma pessoa carrega um objeto como, por exemplo, livros apoiado na cabeça, acredita está realizando trabalho. Porém, a força atua perpendicularmente a direção do movimento e, portanto, o trabalho dessa força é nulo ou inexistente.

Discutido com os estudantes alguns aspectos qualitativos do subsunçor de trabalho de uma força, a continuação da 3ª ETAPA se deu com a leitura do roteiro e da distribuição das seringas, sem as agulhas, para o grupo que estava incompleto porque uma estudante tinha faltado. A Figura 4.8 mostra os estudantes com suas respectivas seringas. Esse organizador prévio também foi classificado como expositivo, pois o grupo de estudantes que foi aplicado a nossa sequência didática, além de apresentarem o subsunçor trabalho bem superficial, ainda careciam de mais familiaridades com roteiros e atividades experimentais.



Figura 4.8: Estudantes com as seringas.

O procedimento foi lido pelo grupo, passo a passo, e acompanhado de perto por nós, que levantávamos perguntas como “porque o gás (ar) empurra o êmbolo da seringa?” ou “o que é um subsistema mecânico do qual fala o roteiro?”. O grupo não reagiu significativamente a esses estímulos, porém, com nossas intervenções, as primeiras reações apareceram. Por exemplo, como sinalizado no roteiro, com o aumento de pressão, o ar dentro da seringa aumenta também sua força sobre o êmbolo e, sendo assim empurra-o. Portanto, explicamos ao grupo que ocorre transferência de energia para o ar fora da seringa, ou seja, sua vizinhança. Em outras palavras, enquanto o ar diminui sua energia, o nosso subsistema hipotético aumenta sua energia e, assim, argumentamos ao grupo que trabalho de uma força é variação de energia, como mencionado anteriormente. Também dizemos que, “subsistema mecânico hipotético” no roteiro, era uma referência a um suposto dispositivo mecânico, idealizada por nós, que poderia ser acionada pelo movimento do êmbolo da seringa. Entretanto, o professor pode considerar o próprio êmbolo da seringa, pistão mais biela, um “subsistema mecânico hipotético” para facilitar a compreensão dos estudantes.

Em meio aos questionamentos levantados, no primeiro momento da aplicação desse organizador prévio, explicamos que ao realizarmos trabalho mecânico sobre o ar na seringa, pois se tratava de uma compressão quase adiabática, ocorria um aumento de sua energia interna com um possível aumento de temperatura. O momento seguinte foi demonstrar aos estudantes, a partir da liberação do êmbolo, que o sistema diminuía sua energia interna e aumentava a energia de sua vizinhança, via trabalho, em uma expansão quase adiabática. Depois evocamos o teorema do trabalho-energia quando argumentamos que a força do ar no êmbolo provocava uma variação de energia no sistema.

Seguidamente, o grupo resolveu inverter o processo. Em vez de realização de trabalho, o procedimento adotado por eles, foi o ar sofrer um trabalho da vizinhança, o ar

atmosférico fora da seringa, quando seu volume diminuía. Com a seringa totalmente contraída, eles obstruíram a entrada com o dedo polegar e deslocou para trás o êmbolo da seringa, realizando trabalho mecânico. Ao solta-lo, o êmbolo avançava para frente fazendo o ar na seringa sofrer um trabalho da sua vizinhança. A Figura 4.9 traz mais detalhes da aplicação desta etapa.



Figura 4.9: Momento da 3ª ETAPA.

Um comentário necessário a ser feito por nós a respeito desse organizador prévio é seu caráter simples e didático, inspirado em uma atividade experimental de baixo custo, com o uso somente de seringa e água proposta por Arribas (1988, p. 30), cujo objetivo é mostrar a compressibilidade de uma bolha de ar aprisionada em uma seringa com água enquanto que, para Pietrocola *et al.* (2010, p. 181), por meio de uma seringa podemos discutir transformações gasosas termodinâmicas. Portanto, mesmo não sendo munido de um questionário, se faz importante sua aplicação pelo fato de os subsunçores energia e trabalho estarem estritamente relacionados e sem perder de vista que se trata de uma sequência didática sobre o equivalente mecânico do calor, portanto, envolvendo a relação entre calor e trabalho mecânico originalmente desenvolvido pelo aparato de Joule.

Pelo perfil não monolítico ou não petrificado de nossa proposta educacional, o docente pôde enriquecer o roteiro desse organizador prévio OP2 com operacionalizações como, por exemplo, sendo graduada em mL a seringa e supondo uma expansão adiabática e isobárica, a partir da variação volumétrica do ar da seringa, fazer as contas para determinar o

trabalho realizado pela força do ar da seringa e, se quiser expandir sua aplicabilidade com a inclusão da 1ª lei da termodinâmica e determinar, supondo uma expansão adiabática, a suposta energia interna do sistema (ar). Doménech *et al.* (2005) elenca um programa de atividades que inclui trabalho de uma força e energia, a nível conceitual e quantitativo, que pode ser explorado pelos professores e professoras de física com fins no aprimoramento desse experimento de acordo com suas necessidades.

4.3 Implementação da 4ª ETAPA

A finalização do produto educacional ocorreu pela aplicação da 4ª ETAPA concernente a última atividade investigativa na qual o grupo consumiu duas horas/aula com duração de 100 min. A etapa final engloba o organizador OP3 cuja incumbência é, além de encontrar um fator de conversão entre joules e calorias, desvelar as categorias ou modalidades de energia que permeiam o experimento, a cadeia energética imbricada, apesar da não validação do equivalente mecânico da caloria. Em seguida discutimos esse encontro abordando suas idas e vindas sempre a luz da teoria da aprendizagem significativa.

A 4ª ETAPA desta sequência didática, o organizador prévio comparativo OP3 foi iniciado por nós com uma breve revisão a respeito do princípio da conservação da energia. Julgamos classificá-lo como comparativo uma vez que o grupo já tinha certa familiaridade com o perfil experimental de nossas atividades envolvendo o calorímetro elétrico, pois eles já tinham obtido sua capacidade térmica com a manipulação da proveta e a obtenção das temperaturas com o termômetro analógico embutido no calorímetro (MOREIRA, 2012). Dito isto, o grupo rapidamente lembrou-se das colocações feitas na 1ª ETAPA da conversibilidade entre energia elétrica em luminosa e calor, presente nas lâmpadas, e da transformação de energia elétrica em térmica, com o resfriamento de ambientes provocados por ar condicionados. Acrescentamos que esse princípio é um dos mais importantes da física e que ainda carece de respostas uma vez que, de acordo com Feynman (1999), a natureza se comporta assim, ou seja, uma determinada quantidade de energia passa de uma modalidade para outra, em um sistema conservativo, por exemplo, e essa mesma quantidade permanece inalterada.

Ao mencionar sistemas físicos conservativos exemplificamos os sistemas mecânicos dos quais supostamente o grupo estava familiarizado desde o 1º ano do ensino médio. O princípio da conservação da energia mecânica é fundamental em um curso de mecânica básica no qual, de acordo com Bôas, Biscuola e Doca (2010a) e Hewitt (2002), a energia mecânica total é invariante para sistemas mecânicos conservativos. Portanto, nós argumentamos que só existe conversibilidade entre energias cinéticas e potenciais em tais sistemas. A título de exemplo, quando um objeto cai de certa altura, na ausência da resistência do ar, então sua energia cinética aumenta ao chegar ao chão já que sua energia de gravidade diminuiu. Outro exemplo interessante é do pêndulo simples. Em sua descida registra-se um crescimento de sua energia cinética, mas uma redução de sua energia potencial de gravidade e, na subida, ocorre o contrário, mas a conversibilidade é somente entre cinética e potencial e vice-versa.

Entretanto, ao incluir forças dissipativas como a resistência do ar, parte da energia mecânica do sistema pode se transformar em energia interna ou em calor. Isso ocorre, explicamos ao grupo, quando um objeto é solto de certa altura em relação ao solo e, ao cair em um recipiente com água, sua temperatura aumenta, ou seja, parte da energia mecânica do sistema aqueceu a água por atrito e, assim, elevando sua temperatura. O grupo assimilou bem essa passagem.

O próximo momento desta etapa foi à leitura, em voz alta por um integrante do grupo, do roteiro referente a esse organizador prévio comparativo. Os objetivos foram objetos de dúvidas pelos estudantes quando mencionado sobre o equivalente mecânico do calor e seu similar elétrico. Relembramos ao grupo que esse tema foi estudado no bimestre anterior e que foi solicitada a turma que elaborasse um trabalho coletivo explicando a relação entre trabalho mecânico e calor com o experimento de Joule, e que o referencial teórico que municiou esse experimento foi o princípio da conservação da energia. Além do mais, frisamos que no experimento original de Joule foi explorado trabalho mecânico com a queda das massas que girava o eixo vertical com as pás, enquanto que, neste aparato, pela inviabilidade de reprodução do original, iríamos utilizar o trabalho da força elétrica. A Figura 4.10 mostra a leitura do roteiro OP3.



Figura 4.10: Leitura coletiva do roteiro OP3.

Na seção do experimento referente ao material usado neste roteiro, mostramos o procedimento em detalhes, dando uma maior ênfase ao multímetro e como colocá-lo no modo voltímetro e associá-lo em paralelo aos terminais da resistência do calorímetro. Também explicamos que, na ausência dos dois conectores machos de 6 mm, íamos usar um fio de 1,20 m conectado a um borne de alimentação p4 que, em sua outra extremidade, tinha uma

bifurcação. A Figura 4.11 mostra o grupo examinando a resistência do calorímetro e o multímetro, que foi um dos materiais utilizados nessa etapa da sequência didática.



Figura 4.11: Grupo examinando os materiais do roteiro.

A montagem do aparato foi muito tranquila e com rápida assimilação pelos estudantes do grupo, que não apresentaram nenhuma dificuldade, exceto a associação em paralelo do multímetro com a resistência do calorímetro, operação executada por nós. Quanto ao procedimento, o grupo realizou passo a passo, desde a medição do volume de água com a proveta, que os estudantes estavam bem familiarizados, passando pela aferição da temperatura de equilíbrio entre a água e o calorímetro, o cuidado em ligar à resistência a fonte de energia e, simultaneamente, usar o celular para registrar o intervalo de tempo estipulado pelo roteiro, 300 s, até finalmente determinarem a potência elétrica dissipada pelo calorímetro. Com base no citado acima, reforçamos que esse organizador prévio é comparativo em relação aos dois organizadores anteriores.

É importante mencionar que a fonte chaveada AC/DC oscilou muito, variando entre 4 V a 5 V. Então o grupo convencionou adotar um valor de 4,5 V para a diferença de potencial que também foi aprovada por nós. Obtida a potência elétrica e feita a coleta dos dados pelos estudantes, o valor do equivalente mecânico do calor, através de seu similar elétrico, foi obtido com o nosso auxílio, pois o grupo apresentava dificuldades em fazer as substituições e elaborar as contas. O intervalo de tempo necessário para encontrar o equilíbrio térmico foi acompanhado à risca pelo grupo que adotou, em média, 5 min. As Figuras 4.12 e 4.13 mostram o grupo elaborando as medições e calculando o equivalente mecânico do calor.



Figura 4.12: Estudantes fazendo medições.



Figura 4.13: Estudantes fazendo as contas.

O grupo encontrou, para o equivalente mecânico do calor, aproximadamente $1 \text{ cal} = 3,860 \text{ J}$. Resolvemos manter esse resultado mesmo sabendo do valor alterado da capacidade térmica do calorímetro em função das improvisações e malabarismos que envolviam o aquecimento e o transporte da água aquecida no organizador prévio OP1. O mais relevante, reforçamos, não é validar o fator de conversão $4,186 \text{ J/cal}$, mas fomentar as discussões decorrentes dessas diferenças entre o valor encontrado pelo grupo e o valor tabelado para subsidia-los na resolução dos problemas que acompanhava essa atividade experimental. Diga-se de passagem, os relatos históricos que cercam a obtenção do equivalente mecânico do calor por Joule sinalizam um trabalho experimental árduo marcado por muitos aperfeiçoamentos tais como o aumento da precisão dos termômetros, minimização de trocas de energia entre o experimentador e o aparato por meio de um anteparo, a testagem de

diferentes substâncias além da água, bem como o permanente controle da temperatura ambiente (SOUZA *et al.*, 2014). Em artigo publicado em 1850, como relata Passos (2009), Joule obteve um valor aproximado de 424 kgf.m/kcal ou 4,159 J/cal para o equivalente mecânico da caloria, apesar de Joule ter achado outros valores (MARTINS, 1984, p. 70; SOUZA, 2012, p. 19-21). Em vista disso, elaborar uma sequência didática apenas almejando validar o resultado que consumiu quase quatro décadas de esforços técnico-científicos de Joule seria contraproducente.

Espera-se que os estudantes demonstrem uma apropriação mais significativa da conservação da energia, pois sendo o fator encontrado por eles distinto do valor tabelado (4,186 J/cal), almejamos explicações para tais discrepâncias fundamentadas neste princípio conservativo. Por exemplo, sendo inferior ao valor tabelado, digamos 3,560 J/cal, os estudantes podem argumentar que perdas por efeito Joule nos fios elétricos aquecidos dissipam energia que deixou de ser computada, gerando a diferença para menos. Por outro lado, para um valor superior ao tabelado, digamos 6,290 J/cal, pode indicar um possível incremento energético ao sistema água-calorímetro por radiação térmica externa ou vibrações mecânicas, transmitindo energia ao sistema. Entretanto, o docente não pode deixar de mencionar que outros erros aumentam ou diminuem a energia do sistema considerado, quais sejam: erro de leitura do termômetro analógico (paralaxe, etc.), resultado duvidoso para a capacidade térmica do calorímetro, oscilações na parte elétrica do aparato tanto na corrente como na ddp, cálculos equivocados das equações, limitações do aparato que conduzem a medidas errôneas, dentre outros. Portanto, a segunda pergunta conduz à reflexão em torno das dificuldades reais e inerentes às atividades laboratoriais.

Diante do exposto, o resultado encontrado pelo grupo foi acompanhado de um debate em torno da discrepância entre o valor encontrado pelo grupo e o valor tabelado no qual os estudantes mencionaram sobre possíveis perdas de energia para o ambiente, bem como questionaram as oscilações da diferença de potencial e a qualidade dos materiais utilizados nesse aparato ou, nas palavras transcritas, “o material [do aparato]”, “perca de energia para o ambiente” e a “oscilação do multímetro”. Aproveitamos para complementar as suas respostas e mencionar o valor encontrado para capacidade térmica do calorímetro, como dito acima, que tinha sido adulterada, por exemplo, pelas perdas de energias ocasionadas pelo aquecimento e transporte de água no experimento OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO, em função das limitações que a escola oferecia ao grupo pela ausência de um laboratório de ciências bem estruturado.

Em relação as formas/modalidades de energia evidenciadas no experimento com o calorímetro elétrico, podemos enunciá-las como: energia elétrica, energia térmica ou interna e calor. A energia elétrica está associada à presença do circuito elétrico formado pela fonte

chaveada AC/DC e a resistência acoplada em paralelo. O calor está associado à diferença de temperatura entre a resistência e a água do calorímetro, sendo assim, energia transferida para água. Já a energia térmica ou energia interna da água do calorímetro é caracterizada pelo aumento de sua temperatura, registrado no termômetro analógico e, portanto, do nível de agitação das moléculas da água. Frisamos que não tem calor na resistência elétrica ou mesmo na água aquecida por ela, pois calor é uma forma de energia que não pode ser armazenada nos corpos.

A segunda questão é relacionada justamente às modalidades de energia debatidas no parágrafo anterior, imbricadas na obtenção do equivalente mecânico do calor com o uso do calorímetro elétrico. Anteriormente, ao longo dessa atividade experimental, perguntamos o motivo da resistência aquecer, isto é, elevar sua temperatura. O grupo afirmou que era a eletricidade a responsável por isso. De fato, e depois foi feito um paralelo entre esse fenômeno, conhecido como efeito Joule (MAIZTEGUI; SABATO, 1973), e um chuveiro elétrico, que foi prontamente compreendido pelos estudantes. Logo em seguida, questionamos o que ocorria a nível microscópico na resistência para ela aquecer. Os estudantes associaram o aquecimento ao aumento da agitação das partículas da resistência e, portanto, uma correspondência com a definição de temperatura em uma situação não usual. Ainda concernente a esse momento, acrescentamos que essa agitação dos átomos da resistência era decorrente das colisões dos elétrons da corrente com esses átomos e, assim, aumentando a temperatura da resistência. Essa problematização ajudou os estudantes a compreenderem as principais formas de energias envolvidas nesse experimento: a energia elétrica e a energia térmica ou interna do fio e da água aquecida. Infelizmente, o calor foi esquecido pelo grupo já que, em função da diferença de temperatura entre a resistência e a água, a energia em trânsito identificada em uma situação pouco trivial, fortaleceria a presença de mais indícios de uma aprendizagem significativa (MOREIRA, 2012).

Nota-se, pela resolução apresentada pelo grupo, um conjunto de tipos de energias apresentadas literalmente e sem sinais de uma apropriação significativa das noções, principalmente, de calor e energia térmica de um corpo. Mesmo assim, não podemos deixar de mencionar que existe uma progressividade não linear, podendo ser acompanhada de obliteração em alguns casos, entre a aprendizagem memorística e para execução de contas e uma aprendizagem dita significativa, ou seja, esse segundo tipo de aprendizagem não se dá de maneira imediata (MOREIRA, 2012; 2013a). Diante do exposto, o grupo não estava habituado a escrever sua argumentação no questionário proposto e decidimos levar em conta a comunicação oral deles diante de nossas provocações e estímulos para identificar evidências de aprendizagem significativa. Carvalho (2013) ressalta a importância do desenvolvimento da linguagem científica verbal, oral e escrita, além da leitura de gráficos e

tabelas, como fator decisivo na formação da cultura científica nos estudantes por meio da qual contribui para a transição de significados cotidianos e alternativos para conceitos científicos mais elaborados (CARVALHO; SASSERON, 2015).

O próximo capítulo vai tratar com mais profundidade da análise dos resultados da aplicação dessa sequência didática.

Capítulo 5

Análise dos Resultados

Este produto educacional foi concebido como um instrumento para o fortalecimento e enriquecimento da estrutura cognitiva dos estudantes do 2º ano do ensino médio com fins em aprendizagem significativa, na perspectiva ausubeliana, dos conceitos de energia, trabalho, calor, temperatura e equivalente mecânico do calor por meio de seu análogo elétrico. Uma das maneiras escolhidas de identificar sinais de aprendizagem significativa foram pela análise dos questionários aplicados nas atividades experimentais OP1 e OP3, além da exposição oral dos estudantes em todas as etapas da sequência didática e os aspectos atitudinais dos mesmos.

O subsunçor energia, mais geral que os demais eleitos nesta proposta didática, ampliou a concepção de energia dos estudantes, em sua base subsunçora, ganhando aspectos significativos pelo grupo, pois, além de ter sido conectado a situações cotidianas como funcionamento de uma lâmpada e de um ar condicionado com as suas respectivas formas de energia e conversibilidade, na atividade experimental OP3, os estudantes identificaram os tipos de energia envolvidas sem grandes dificuldades, mesmo ao deixar de lado o calor, compreendendo a conversão entre energia elétrica em térmica por meio do aquecimento da resistência por efeito Joule e, assim, integrar-se, em uma situação menos usual em comparação as abordagens nos livros textos de física, do princípio da conservação da energia.

Quanto aos subsunçores calor e temperatura, referente ao organizador prévio expositivo OP1, a aprendizagem mostrou ser mais substantiva, com compreensão e significado pelos estudantes. A execução das contas para calcular a capacidade térmica do calorímetro, com as devidas substituições das grandezas envolvidas, a correta manipulação dos materiais utilizados, as medições da temperatura e do volume de água e os questionamentos subsequentes em torno da noção de calor e temperatura, com suas convergências e divergências, evidenciou a positividade da aplicação dessa atividade experimental. Porém, não podemos esquecer o fato que, de acordo com as respostas apresentadas pelo grupo na ficha experimental, as definições de calor e temperatura foram literais e arbitrárias, mesmo submetidos a uma situação não conhecida, implicando em indícios de uma aprendizagem mecânica ou, se não, em uma transição, em torno de uma zona cinza, em um contínuo entre a aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa (MOREIRA, 2012).

Silva, Laburú e Nardi (2008) destaca a dificuldade, por parte de docentes e estudantes, em compreender o conceito de calor que, segundo os autores, em física e química, é de conceituação complicada e aberta a interpretações duvidosas. Considerando isso, esperar que

os estudantes assimilem esse conceito significativamente e de modo imediato, mesmo através de um organizador prévio expositivo, é subestimar os debates, inclusive dentro da literatura especializada, que a conceituação de calor transporta. Ainda conforme os autores, outro ponto a se considerar no âmbito da aplicação desse organizador prévio são as concepções espontâneas ou alternativas que os estudantes possuem e, assim, não podemos ignorar, ao analisar os resultados, a resistência dos estudantes em se desvencilhar de tais concepções, como, a título de exemplo, que temperatura e calor são sinônimos, mostrando entraves na apropriação significativa desses.

Ainda analisando essa etapa da nossa sequência didática, Moreira (2013a) destaca que a aprendizagem significativa não é imediata ou abrupta, mas, por outro lado, ocorre progressivamente e dentro das particularidades dos aprendizes, reforçando a existência de um caminho gradual na aprendizagem, com processos cognitivos de diferenciação e reconciliação, que modifica os conceitos e proposições dos educandos paulatinamente. Dialogando com os subsunçores calor e temperatura, não poderíamos esperar resultados de evolução profundos em um curto intervalo de tempo uma vez que, suas noções prévias desses subsunçores aproximavam-se das concepções alternativas e cotidianas de calor, que se misturava com a ideia de temperatura, exigindo uma longa reorientação de sua estrutura preexistente.

A análise da aplicação do subsunçor trabalho, mais intermediário na hierarquia dos subsunçores elencados, teve um desempenho análogo ao do subsunçor energia, mesmo envolvendo aspectos da termodinâmica como, por exemplo, o trabalho realizado pela força de um gás ou, simplificando, trabalho de um gás, o grupo não teve dificuldades em associar trabalho de uma força à energia, a partir da definição operacional de energia adotada por nós. A ideia de trabalho como uma forma de variação de energia e que, assim como o calor, não pode ser armazenado em um corpo, foi apresentado por nós e exemplificado por meio do trabalho mecânico do experimento de Joule, na obtenção do equivalente mecânico do calor. Por outro lado, a noção de trabalho de uma força e o consequente deslocamento que essa força provoca (HEWITT, 2002), quando aplicada paralelamente na direção do deslocamento, foi compreendida pelo grupo, isto é, a força que o gás aplicava no êmbolo da seringa, em função do aumento de pressão com a diminuição do volume de ar, que empurrava o êmbolo e, portanto, transferia energia para um idealizado subsistema mecânico, foi capturado pelos estudantes.

A exposição conceitual do teorema do trabalho-energia e do trabalho da força gravitacional, ainda na atividade experimental OP2, contribuiu no amadurecimento do subsunçor trabalho. De fato, quando a seringa era pressurizada, explicávamos ao grupo que a energia do sistema (ar na seringa) aumentava e, ao diminuir a pressão, a energia do sistema

também decrescia, mas, por meio da realização de trabalho mecânico com o deslocamento do êmbolo da seringa, a energia da vizinhança aumentava, ou seja, nosso hipotético subsistema mecânico tinha um crescimento de sua energia. Esse simples organizador prévio expositivo enriqueceu no grupo a noção de trabalho de uma força como variação de energia e, portanto, podendo gerar absorção de energia em um dado sistema físico.

Quanto à força peso, supondo uma interação de um corpo com a Terra, em nosso caso utilizamos o calorímetro como corpo nessa interação, o grupo assimilou a condição de paralelismo entre a força ou sua componente e o deslocamento para caracterizar a execução de trabalho. Assim sendo, mesmo reconhecendo um conhecimento prévio superficial do grupo, que incluía concepções do senso comum para esse subsunçor, e levando em consideração que organizadores prévios nem sempre produzem os efeitos esperados (MOREIRA, 2008; 2012) julgamos que o grupo gerou interatividade e ancoragem, por subordinação, entre a sua noção prévia de trabalho e o nosso material instrucional potencialmente significativo (MOREIRA, 1999).

Com o amadurecimento dos conceitos subsunçores anteriores, o último organizador prévio, mais específico e do tipo comparativo, o equivalente mecânico do calor pelo seu análogo elétrico, foi executado com muito mais desenvoltura que os demais experimentos, com o grupo de estudantes mostrando iniciativa em fazer medições, com a montagem do aparato, exceto a preparação do voltímetro que ficou aos nossos cuidados, e mesmo as contas, com as devidas substituições das grandezas físicas envolvidas, não foram grandes obstáculos na obtenção do valor do equivalente mecânico do calor por meio do calorímetro elétrico. Mesmo esquecendo-se de mencionar o calor como uma das espécies de energia imbricadas no roteiro OP3, como foi dito acima, ao selecionar a energia elétrica e a térmica, ficou muito evidente que as transformações de energia e seu princípio da conservação ganharam mais fundamentação ou substância na estrutura cognitiva dos educandos.

Conforme já mencionado anteriormente no capítulo 4, as resoluções para a segunda questão do organizador prévio OP3 foram literais, mas acompanhadas de uma boa explicação oral que os aproximou de uma zona cinza ausubeliana. Essa contradição se deu pela pouca experiência do grupo com a escrita quando submetidos a atividades que fogem do escopo tradicional, por exemplo, de testes ou provas de múltipla escolha que alimenta uma aprendizagem mecânica (MOREIRA, 1999; 2012). Nesse âmbito da comunicação escrita, Carvalho e Sasseron (2015) consideram três eixos estruturantes para a objetivação da alfabetização científica do estudante que incluem a compreensão de conceitos físicos científicos e a dominação de linguagens, dentre outras, escrita e oral.

Os aspectos atitudinais e comportamentais do grupo foram considerados como uma das formas de avaliação que nós adotamos ao longo da sequência didática. Levamos em conta

a pontualidade dos membros, comprometimento com as atividades experimentais, participação ativa e colaborativa do grupo e, portanto, segundo Carvalho (2013), aspectos atitudinais que contribuem para a busca do conhecimento em uma avaliação formativa dos estudantes. O grupo apresentou todos os atributos anteriores o que evidencia uma intencionalidade ou, conforme Moreira (2012), uma disposição do grupo em querer aprender e, portanto, querer relacionar o que já sabe de relevante sobre determinado conteúdo com o novo conhecimento. Entretanto, de acordo com Moreira (2013a), a transição entre uma aprendizagem mecânica em significativa é gradual e progressiva e, em boa medida, na zona cinza como constatamos.

Desta forma, podemos concluir que o saldo da aplicação desse produto educacional foi extremamente positivo e com fortes evidências de uma aprendizagem significativa, progressiva e não linear, uma vez que, diante de todas as dificuldades encontradas, que incluía a ausência de um laboratório de ciências apropriado, um grupo de estudantes com rasos conhecimentos prévios relevantes e as limitações do próprio aparato correspondente a cada organizador prévio construído, o grupo participou ativa e coletivamente, sendo expostos a situações não usuais e respondendo com propriedade aos estímulos aos quais foram submetidos. Além disso, como mencionado anteriormente, de acordo com Moreira (2013a), em geral a aprendizagem ocorre de maneira progressiva e não linear, em um contínuo entre a aprendizagem mecânica e significativa, e, assim, não instantânea ou abrupta, pois envolve uma apropriação não arbitrária e pouco estimulada nos espaços de ensino.

Capítulo 6

Considerações Finais

O grupo de estudantes do 2º ano do ensino médio da Escola São Miguel, pertencente à rede estadual de Pernambuco, em meio a problemas identificados na escola, em linhas gerais, se saíram muito bem e com uma compreensão mais próxima de uma aprendizagem significativa e não arbitrária dos subsunçores energia, trabalho, calor, temperatura e equivalente mecânico do calor com o uso do calorímetro elétrico. Além disso, esse produto educacional poderia ser muito mais potencializado se, por exemplo, para uma turma de 40 estudantes, fossem replicados os aparatos referentes a cada um dos organizadores prévios OP1, OP2 e OP3, ampliando a participação efetiva de todos os estudantes da turma. Infelizmente, em razão das dificuldades financeiras, não foi possível abarcar toda a turma e, assim, submeter essa proposta didática a mais desafios.

A aprendizagem progressiva, não linear e dentro de uma zona cinza em direção a uma apropriação significativa dos conceitos subsunçores, de um modo geral, que este produto tanto almejava despertar nos estudantes, foi identificada nos momentos de explicação dos fenômenos físicos envolvidos nas atividades experimentais, por mais que tenha sido superficial em alguns momentos ou mesmo mecânica em outros, abrindo espaço para vulnerabilidade dessa proposta didática, mas que identifica o caráter não abrupto da aprendizagem ausubeliana (MOREIRA, 2012; 2013a).

O contexto social da escola pública não pode ser negligenciado, inserida em um clima de apatia ou mesmo descaso por parte do alunado em relação às aulas de física que, segundo Freire (1996), são alimentadas, dentre outros fatores, por docentes que simplesmente transferem o conhecimento em aulas expositivas tradicionais tomando o educando como uma tábula rasa, em um ensino meramente bancário, no qual devemos depositar as novas informações em sua estrutura cognitiva ignorando seus conhecimentos prévios acerca de conceitos, proposições e procedimentos. Entretanto, sujeitos a novas situações de ensino-aprendizagem, o grupo que trabalhamos respondeu com disposição e vontade de aprender, sendo esta última uma das condições ausubelianas para a aprendizagem significativa (MOREIRA, 1999; 2011), demonstrando que uma postura participativa e colaborativa dos educandos também exige novas práticas pedagógicas do professor (MOREIRA, 2013b; CARVALHO, 2013).

Um comentário crítico a ser feito, concernente aos experimentos, é que, para o mesmo grupo de estudantes, esses experimentos poderiam ser refeitos, comparando resultados anteriores e aumentando a precisão das medidas. Por exemplo, o organizador prévio

expositivo OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO, em razão do aquecimento da massa de água a 100 °C e seu transporte poderiam ter sido realizados mais vezes e comparado os resultados. A mesma crítica é válida para o roteiro OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR, dessa vez em função das oscilações da parte elétrica. O grupo poderia realizar este experimento por meio da associação em série do multímetro com a resistência do calorímetro para encontrar, eles próprios, um valor para intensidade da corrente elétrica. Em seguida, fazer uma associação em paralelo para obtenção da ddp da resistência, como sugere o procedimento deste experimento. Porém, como o período de realização desses experimentos estava próximo das avaliações bimestrais dos estudantes, era mais razoável evitar as repetições dessas atividades experimentais. No entanto, essa crítica não diminui os resultados encontrados pelos estudantes, que foram meticolosos e seguiram fielmente o procedimento dos roteiros.

Na 1ª ETAPA de nossa sequência didática poderíamos já ter introduzido uma breve discussão sobre a natureza do calor, pois se trata de mais uma modalidade de energia. Em momentos que envolvia a conversão de energia elétrica em térmica, por exemplo, quando problematizado o funcionamento de um ar condicionado, poderíamos ter aproveitado melhor às fendas abertas nesses momentos para trazer a superfície o debate em torno da concepção de calor como a teoria do calórico, do flogístico e a teoria dinâmica do calor, esta última fortemente ligada às contribuições de Conde Rumford (MEDEIROS, 2009; PIETROCOLA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2013), muito embora esse importante recurso à história e filosofia da ciência por meio dessas concepções históricas a respeito da natureza do calor vão ser resgatadas na aplicação do organizador prévio OP1. Além do mais, fica como sugestão aos docentes em aplicações futuras desse produto, a elaboração de um organizador prévio específico sobre a HFC e a natureza do calor como mediador entre os subsunçores energia, mais inclusivo e geral, calor e temperatura, mais intermediários. Para tanto, esse organizador prévio pode ser concebido a partir da modalidade investigativa textos históricos (CARVALHO *et al.*, 1999).

Outro comentário importante a respeito do organizador prévio expositivo OP2 – TRABALHO DE UM GÁS é, pensando em aprimoramentos futuros, incrementar um questionário que permita fazer contas em torno de variações volumétricas do ar da seringa, admissão de processos adiabáticos que se comunique com a primeira lei da termodinâmica, conjecturas sobre mudanças isobáricas e, assim, calcular o trabalho realizado pelo ar sobre sua vizinhança, por exemplo. Também podemos acrescentar pormenores conceituais que amplie a perspectiva dos estudantes sobre o teorema do trabalho-energia como forças internas, externas, conservativas e não conservativas (DOMÉNECH *et al.*, 2005).

Um fator a ser lembrado, nestas considerações finais, é a flexibilidade do número de horas-aula. A sequência didática indica um total de três horas-aula e, no entanto, a aplicação do produto consumiu ao toda cinco horas-aula. Isso foi crucial para aprendizagem dos estudantes, uma vez que, ao ampliar o tempo de aplicação do produto, permitiu uma maior problematização dos conteúdos abordados, uma livre argumentação, principalmente oral dos estudantes, uma interação mais substancial com os materiais utilizados nas atividades experimentais, além de submetê-los a situações novas, com situações-problema mais qualitativas do ponto de vista físico, explicando os fenômenos envolvidos nos experimentos, não se restringindo somente ao formalismo matemático.

O uso de mapas conceituais poderia servir de ferramenta avaliativa ao longo da aplicação desse produto, por exemplo, incluindo uma descrição escrita ou oral do mapa desenvolvido pelo estudante que, a partir dele, poderíamos utilizá-lo como mais um mecanismo de busca de evidências de uma aprendizagem significativa, de acordo com Moreira (2005; 2013a). Porém, como o grupo que trabalhamos a nossa sequência didática não apresentava familiaridade com mapas conceituais e, por um deslize nosso não foi executado um trabalho prévio com esse tipo de diagrama, foi resolvido não explorar esse recurso avaliativo com esse grupo. Entretanto, em condições favoráveis, como sugeri nosso produto, mapas conceituais devem ser inseridos na prática didática dos docentes e exercitados pelos estudantes para integrar conceitos gerais e inclusivos com outros mais secundários e específicos (MOREIRA, 2013a), além de orientar a escrita dos estudantes para um padrão mais científico e formal (CARVALHO, 2013).

De acordo com Zanetic (2005) e sendo um dos propósitos desse produto, contribuimos para demonstrar que física é cultura na escola, é cultura no contexto social e é cultura na literatura, mostrando aos estudantes que física é muito mais que equações, mas também problematizações acompanhadas de criticidade, sendo esta última, segundo Freire (1996), transformada gradualmente de ingênua, mais próxima do senso comum, para rigorosa e, portanto, mais epistemológica. Por fim e considerando que nosso produto buscou se comunicar com a criticidade apontada anteriormente, Moreira (2000; 2006; 2013b) coloca como um dos desafios do ensino de física na contemporaneidade uma abordagem mais próxima da aprendizagem significativa crítica, ou seja, com significado, porém com criticidade na qual o estudante possa, dentre outras coisas, aprender a perguntar e a buscar as respostas, aprender com os erros e suas correções, aprender com diferentes recursos didáticos e aprender a desaprender o que é irrelevante ou descartável para sua sobrevivência, sendo essa perspectiva apoiada em um ensino de física por investigação (CARVALHO, 2013).

Referências Bibliográficas

- ALVES, P. P. **A experiência de Joule revisitada**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado em Física Laboratorial, Ensino e História da Física) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008.
- ARRIBAS, S. D. **Experiências de física ao alcance de todas as escolas**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora FAE, 1988, p. 71-84.
- AXT, R.; BRÜCKMANN, M. E. O conceito de calor nos livros de ciências. **Cadernos Catarinenses de Ensino de Física**, v. 6, n. 2, p. 128-142, 1989.
- AXT, R.; BRÜCKMANN, M. E. Um laboratório de física para o ensino médio. **Textos de Apoio do Professor de Física**, n. 4, p. 13-15, 1993.
- AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. C. (Org.). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Cengage Learning, 2016.
- BÔAS, N. V.; DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J. **Física 1**. 1ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2010a, p. 261-265, p. 297-300.
- BÔAS, N. V.; DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J. **Física 2**. 1ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2010b, p. 25-26, p. 50-53.
- BUCUSSI, A. A. Introdução ao conceito de energia. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, v. 17, n. 3, p. 1-32, 2006.
- BONJORNO, J. R.; BONJORNO, R. A.; BONJORNO, V.; RAMOS, C. M. **Temas de física 1: mecânica**. 1ª ed. São Paulo: FTD, 1997, p. 250-251.
- BONJORNO, J. R.; BONJORNO, R. A.; BONJORNO, V.; RAMOS, C. M. **Física fundamental-Novo: volume único**. 1ª ed. São Paulo: FTD, 1999, p. 173-175.
- CABRAL, F.; LAGO, A. **Física 1**. São Paulo: Editora Harbra, 2004a, p. 304-329.
- CABRAL, F.; LAGO, A. **Física 2**. São Paulo: Editora Harbra, 2004b, p. 42-45.
- CALÇADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. **Física clássica: dinâmica, estática e hidrostática**. 1ª ed. São Paulo: Editora Atual, 1985, p. 191-215.
- CALÇADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. **Física clássica: termologia, fluidomecânica e análise dimensional**. 2ª ed. São Paulo: Editora Atual, 1998, p. 136-146.
- CARMO, L. A.; MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Distorções conceituais em imagens de livros textos: o caso do experimento de Joule com o calorímetro das pás. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, 7., 2000. **Atas [...]**. Florianópolis: ENPEF, 2000.
- CARVALHO, A. M. P.; SANTOS, E. Z.; AZEVEDO, M. P. C. S.; DATE, M. P. S.; FUJII, S. R. S.; NASCIMENTO, V. B. **Termodinâmica: um ensino por investigação**. São Paulo: FEUSP, 1999, p. 15-26.
- CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Ciências por Investigação:**

Condições para implementação em sala de aula. 1ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013, p. 1-20.

CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H. Ensino de física por investigação: referencial teórico e as pesquisas sobre as sequências de ensino investigativas. **Ensino Em Re-Vista**, v. 22, n. 2, p. 249-266, 2015.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 3, p. 765-794, 2018.

CARVALHO, B. C.; GOMES, L. C. Equivalente mecânico do calor: o que dizem os livros didáticos e o que afirma Joule em seus textos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA, 4., 2014. **Atas [...]**. Ponta Grossa: SINECT, 2014.

CARVALHO, B. C.; GOMES, L. C. A transposição do equivalente mecânico do calor nos livros didáticos de Física. **Acta Scientiae**, v. 19, n. 2, p. 373-393, 2017.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** Tradução de Raul Finker. 1ª ed. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.

CHAUI, M. A ciência na história. In: CHAUI, M. (Ed.). **Iniciação a filosofia**. São Paulo: Editora Ática, 2000, p. 320-333.

COSENTINO, M. R.; RIOS, L. Experimentos de calorimetria em cursos universitários. **Revista Brasileira em Ensino de Física**, v. 42, p. 1-11, 2020.

DOMÉNECH, J. L.; GIL-PEREZ, D.; TORREGROSA, J. M.; VALDÉS, P. A introdução dos conceitos de trabalho e energia: exemplo de programa de atividades para orientar o trabalho dos estudantes. In: CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. (Org.). **A necessária renovação no ensino das ciências**. 1ª ed. São Paulo: Cortez Editora, 2005, p. 127-151.

DUARTE, M. C. A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 317-331, 2004.

FEYNMAN, R. P. **Física em seis lições**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Ediouro, 1999, p. 115-137.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. 25ª ed. São Paulo: Editora Paz e Terra, 1996, p. 34-36, p. 52-101.

GASPAR, A. **Física: ondas, óptica e termodinâmica**. 1ª ed. São Paulo: Editora Ática, 2000, p. 309-317.

GIL-PEREZ, D.; FERNÁNDEZ, I.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Superação das visões deformadas da ciência e da tecnologia: um requisito essencial para a renovação da educação científica. In: CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. (Org.). **A necessária renovação no ensino das ciências**. 1ª ed. São Paulo: Cortez Editora, 2005, p. 37-70.

HEWITT, P. **Física conceitual**. 9ª ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2002, p. 114-120, p. 268-272.

- HOFMANN, M. P.; GRANDI, B. C. S. Laboratório caseiro: um calorímetro alternativo. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 5, n. 1, p. 47-49, 1988.
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 9ª ed. São Paulo: Perspectiva, 2007.
- MAIZTEGUI, A. P.; SABATO, J. A. **Física 2**. 1ª ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1973, p. 279-289.
- MARQUES, N. L. R.; ARAÚJO, I. S. Física térmica. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, v. 20, n. 5, p. 1-73, 2009.
- MARTINI, G.; SPINELLI, W.; REIS, H. C.; SANT'ANNA, B. **Conexões com a física 2: estudos do calor, óptica geométrica e fenômenos ondulatórios**. 3ª ed. São Paulo: Editora Moderna, 2016, p. 14-18.
- MARTINS, R. A. Mayer e a conservação da energia. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 6, série 1, p. 63-84, 1984.
- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Física: volume único**. 1ª ed. São Paulo: Editora Scipione, 1997, p. 237-238.
- MEDEIROS, A. Entrevista com o conde Rumford: da teoria do calórico ao calor como uma forma de movimento. **A Física na Escola**, v. 10, n. 1, p. 4-16, 2009.
- MEDEIROS, A.; MONTEIRO JÚNIOR, F. N. A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino da física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS, 3., 2001. **Atas [...]**. Atibaia: ENPEC, 2001. Disponível em: <<http://abrapecnet.org.br/enpec/iii-enpec/o12.htm>>. Acesso em: 25 dez. 2018.
- MONTEIRO JÚNIOR, F. N.; MEDEIROS, A. Síntese ou distorção: como os livros didáticos tratam o conceito de timbre? In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2., 1999, Valinhos. **Atas [...]** Porto Alegre: ABRAPEC, IF/UFRGS, 1999, p. 1-15. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/ii-enpec/apresentacoes_orais.html>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- MOREIRA, M. A. Energia, entropia e irreversibilidade. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, n. 9, p. 1-28, 1998.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa crítica. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, 3., 2000. **Atas [...]**. Lisboa: EIAS, 2000, p. 33-45. Revisado e estendido.
- MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 4, n. 2, p. 38-44, 2005. Revisado em 2012.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, 5. 2006. **Atas [...]**. Madri: EIAS, 2006.
- MOREIRA, M. A. Organizadores prévios e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 7, n. 2, p. 23-30, 2008.

- MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 1ª ed. São Paulo: EPU, 1999, p. 151-165.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 3, p. 25-46, 2011.
- MOREIRA, M. A. Al final, que és aprendizaje significativo? **Revista Currículum**, n. 25, p. 29-56, 2012.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa em mapas conceituais. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, v. 24, n. 6, p. 1-49, 2013a.
- MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. In: CONFERÊNCIA INTERAMERICANA SOBRE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA, 11., 2013. **Atas** [...]. Guayaquil – Equador, p. 1-12, 2013b.
- MOREIRA, M. A.; MASSONI, N. T. Interfaces entre teorias de aprendizagem e ensino de ciências/física. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, v. 26, n. 6, p. 27-29, 2015.
- MORO, F. T.; NEIDE, I. G.; REHFELDT, M. J. H. Mapas conceituais e aprendizagem significativa no ensino médio: análise da integração entre atividades experimentais e computacionais na transferência de energia térmica. **Revista Tecnologias na Educação**, ano 8, n. 14, p. 1-9, 2016.
- MOURÃO, M. F.; SALES, G. L. O uso do ensino por investigação como ferramenta didático-pedagógica no ensino de física. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 5, p. 428-440, 2018.
- MOURA, F. A. Sequência de ensino investigativa – SEI. In: MOURA, F. A. **Ensino de física por investigação: Uma proposta para o ensino de empuxo para alunos do ensino médio**. Belém: UFPA, 2018, p. 29-43.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica 1: mecânica**. 4ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002a.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica 2: fluídos, oscilações, ondas e calor**. 4ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002b, p. 167-170.
- OLIVEIRA, M. J. **Termodinâmica**. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005, p. 1-8.
- PASSOS, J. C. Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, 2009.
- PERNAMBUCO. SEE. **Conteúdos de física por bimestre para o ensino médio com base nos parâmetros curriculares do estado de Pernambuco**. Recife: Secretaria de Educação e Esportes, 2014. Disponível em: <http://www.educacao.pe.gov.br/portal/upload/galeria/7801/Conteudos_de_Fisica_EM.pdf>. Acesso em: 10 out. 2018.
- PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em contextos: pessoal, social e histórico: energia, calor, imagem e som**. 1ª ed. São Paulo: Editora FTD, 2010, p. 96-117, p. 162-165, p. 216-259.

- QUEIRÓS, W. P.; NARDI, R.; DELIZOICOV, D. A produção técnico-científica de James Prescott Joule: uma leitura a partir da epistemologia de Ludwik Fleck. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 19, n. 1, p. 99-116, 2014.
- QUEIRÓS, W. P.; NARDI, R.; NETO, D. D. As influências teóricas e do contexto sociocultural no trabalho técnico científico de James Prescott Joule: contribuições para a formação de professores de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 675-703, 2019.
- ROCHA, F. S.; GUADAGNINI, P. H.; LUCCHESI, M. M. Projeto de um calorímetro de relaxação para ensino de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 278-297, 2017.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D. **Física I**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1983, p. 157-161, p. 121-133.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D. **Física II**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1984, p. 184-187, p. 196-197.
- SAUERWEIN, R. A.; SAUERWEIN, I. P. S. Objeto de Aprendizagem: Máquinas Térmicas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 2, p. 812-830, 2012.
- SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W. **Física 3: eletricidade, magnetismo e tópicos de física moderna**. 1ª ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1973, p. 500-509.
- SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas**. 12ª ed. São Paulo: Editora Addison Wesley, 2008, p. 190-191.
- SILVA, J. L. P. B.; PREGNOLATTO, Y. H. Ensino para aprendizagem significativa da termodinâmica básica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS, 2., 1999. **Atas [...]**. Valinhos – SP, p. 1-10, 1999.
- SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E.; NARDI, R. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 383-396, 2008.
- SILVA, A. P. B.; FORATO, T. C. M.; GOMES, J. L. A. M. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 492-537, 2013.
- SILVA, S. C. R.; SCHIRLO, A. C. Teoria da aprendizagem de Ausubel: reflexões para o ensino de física ante a nova realidade social. **Imagens da Educação**, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2014.
- SOUZA, R. S. **O experimento de Joule e o ensino de termodinâmica baseado na história da ciência: uma proposta didática**. 2012. 59 f. Monografia (Licenciatura Plena em Física) – Departamento de Física, Universidade Estadual da Paraíba, 2012.
- SOUZA, R. S.; SILVA, A. P. B.; ARAUJO, T. S. James Prescott Joule e o equivalente mecânico do calor: reproduzindo as dificuldades do laboratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, 2014.
- TAVARES, R.; RODRIGUES, G. L.; SANTOS, J. N.; ANDRADE, M. Objetos de aprendizagem e a construção de significados em termodinâmica. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 18., 2007. **Atas** [...]. São Paulo – SP, 2007.

TIPLER, P. A. **Física volume 2**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S. A., 1990, p .689-692.

VALADARES, J. Os modelos investigativos atuais no ensino de física e o recurso à história e a filosofia da ciência. In: PEDUZZI, L. O. Q. *et al.* (Org.). **Temas de História e Filosofia da Ciência**. Natal: Editora da UFRN, 2012, p. 85-11.

ZANETIC, J. Física e cultura. **Ciência e Cultura**, v. 57, n. 3, p. 21-24, 2005.

Apêndice A

O Produto Educacional – Equivalente Mecânico do Calor: Atividade Experimental Investigativa para Aprendizagem Significativa da Relação entre Calor e Trabalho

O principal objetivo deste produto educacional é, antes de tudo, municiar os educadores na área de física a explorarem atividades experimentais no ensino de calorimetria e termodinâmica, a nível médio, com fins na aprendizagem significativa dos educandos a partir do equivalente mecânico do calor por meio do seu análogo elétrico. Essa sequência didática investigativa tem sua aplicação sugerida como pré-requisito à introdução de conceitos de calorimetria, como calor sensível ou latente, e também, pelo seu grau de generalização, ao estudo das leis da termodinâmica.

Trata-se de um produto com custo relativamente baixo e, como a maioria das escolas públicas brasileiras carece de laboratórios de física, essa simples proposta didática se coloca à disposição dos professores, nessa árdua tarefa de desenvolver o ensino e aprendizagem dos estudantes em termologia, em meio a tantos descasos com nossa educação, que é pública, laica, gratuita, crítica e transformadora. Uma avaliação diagnóstica antecedente com os estudantes à procura de conhecimentos prévios relevantes se faz necessário como pré-requisito para a aplicação desse produto em casos nos quais o professor desconheça por completo e em linhas gerais as concepções prévias dos estudantes a respeito dos subsunçores escolhidos para essa sequência didática.

A montagem do aparato é muito simples e se resume a poucas etapas. Por outro lado, há sugestões de questionários vinculados à maioria das atividades experimentais ou, na visão de Ausubel, organizadores prévios. Esses organizadores foram definidos como: OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO, OP2 – TRABALHO DE UM GÁS e OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR. Além disso, outros pormenores são esmiuçados nesta cartilha que incluem materiais utilizados nos roteiros, sugestões de abordagem de conceitos como calor, temperatura, trabalho e energia. Assim sendo, sem mais delongas, esperamos que este produto educacional contribua e, simultaneamente, se complete nas mãos hábeis dos nossos professores de física do Brasil. Divirtam-se.

A.1 Montagem dos Aparatos

O produto educacional proposto é uma sequência didática pavimentada em um ensino por investigação, na teoria da aprendizagem de Ausubel e em alguns princípios norteadores da aprendizagem significativa crítica de Moreira tais como a descentralização do uso do quadro-de-giz e do livro didático ou, em outras palavras, os organizadores desta sequência propõe diversificar a estratégia didática do docente comumente alicerçada em aulas expositivas com o uso somente do quadro e com o livro de texto (MOREIRA, 2000; 2006). A ser construída ao longo de três aulas, aproximadamente, este produto educacional inclui três atividades experimentais para aplicação com estudantes do 2º ano do ensino médio englobando a temática calorimetria e termodinâmica.

A primeira atividade experimental (OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO) se refere a encontrar o valor da capacidade térmica do calorímetro. Nesta atividade, de acordo com a Figura A.1, o calorímetro tem sua resistência removida para evitar trocas de energia térmica com as massas de água. Porém, ainda de acordo com a Figura A.1, para garantir que o calorímetro não participe de trocas de energia com o meio externo, foi colocada uma fita adesiva transparente para vedar o encaixe da resistência removida. Uma sugestão mais apropriada é colocar uma rolha ou um pedaço de isopor no encaixe da resistência ajudando a minimizar mais ainda as perdas de energia do sistema água-calorímetro com sua vizinhança.



Figura A.1: Calorímetro com termômetro analógico.

Além do calorímetro sem a resistência, uma proveta de capacidade máxima de 100 mL é usada para obter as massas de água, indiretamente, ao longo dessa sequência didática. Na Figura A.2 é mostrada a proveta que foi utilizada pelos estudantes.



Figura A.2: Proveta de 100 mL.

Quanto à segunda atividade experimental (OP2 – TRABALHO DE UM GÁS) dessa sequência didática, que tem o objetivo de fortalecer a compreensão dos estudantes no que diz respeito ao trabalho de um gás ideal e sua variação de energia, são utilizadas seringas, sem suas agulhas, como é mostrado na Figura A.3. Nesse experimento, as seringas tinham capacidade máxima de 10 mL.



Figura A.3: Seringas de 10 mL.

Enfim, para o último experimento (OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR), é necessária uma montagem um pouco mais cuidadosa, uma vez que envolve um circuito elétrico e, associado em paralelo a ele, um multímetro funcionando como voltímetro, como é mostrado na Figura A.4. De acordo com essa figura, nota-se uma diferença de potencial de 4 V, que foi a registrada em dado instante durante a realização dessa atividade.

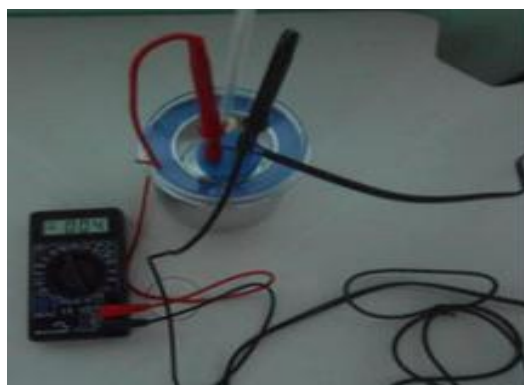


Figura A.4: Calorímetro associado em paralelo com o multímetro.

O roteiro dessa terceira e última atividade experimental (OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR), que tem o objetivo de determinar o equivalente mecânico do calor por meio de seu análogo elétrico, inclui uma montagem que, primeiramente, de acordo com a Figura A.5, um borne de alimentação é ligado a um fio de 1,20 m de comprimento, que tem em sua extremidade uma bifurcação. Essa bifurcação é para ser colocada diretamente nos terminais do calorímetro. É recomendado, por segurança, o uso de dois conectores de 6 mm, que seriam utilizados nas pontas dos fios da bifurcação. Tomados os devidos cuidados, não existe fortes riscos de choques elétricos, se não houver esses conectores de 6 mm.



Figura A.5: Borne ligado a um fio de 1,20 m com bifurcação.

Continuando a montagem desse terceiro aparato, o borne que foi conectado ao fio de comprimento igual a 1,20 m, é ligado à fonte de alimentação chaveada por meio de um plug. A Figura A.6 mostra o plug da fonte AC/DC conectado ao borne enquanto a Figura A.7 exhibe uma visão mais ampliada dessa junção.



Figura A.6: Plug da fonte AC/DC conectado ao borne.



Figura A.7: Fonte AC/DC ligada ao fio de 1,20 m bifurcado.

Assim sendo, para concluir a montagem e chegar à situação exibida na Figura A.4, basta conectar cada ponta da bifurcação aos terminais da resistência, resistência mostrada na Figura A.8 com seus respectivos terminais de cores preta e vermelha, que o aparato estará preparado para utilização.



Figura A.8: Resistência do calorímetro com seus terminais.

Uma importante recomendação para realização desse experimento é a determinação da intensidade da corrente que atravessa a resistência do calorímetro. O multímetro é colocado no modo amperímetro e ligado em série com a resistência do calorímetro de acordo com a Figura A.9, que exibe um instantâneo no valor de 1,25 A correspondente a fonte AC/DC antiga. Na realização da atividade, já com a utilização da fonte AC/DC nova, verificamos uma corrente que oscilou entre 1,10 A e 1,18 A. Para fins do cálculo da potência elétrica, adotamos o valor correspondente à média aritmética das correntes ditas acima, ou seja, de 1,14 A.



Figura A.9: Multímetro associado em série com o calorímetro.

A montagem dos aparatos para a realização das atividades experimentais, dentro do ensino por investigação enquanto metodologia perpassa pela participação ativa e colaborativa dos estudantes como recomenda Carvalho (2013). Neste produto, tendo os organizadores prévios um perfil experimental e sendo de fácil manipulação, é disposto para facilitar o trabalho do estudante contando com a pronta orientação do professor ou da professora.

A.2 Metodologia de Utilização

O referencial teórico que embasou nossa sequência didática foi à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel na qual, partindo das ideias e conceitos preexistentes do aprendiz, podemos criar uma ancoragem, no caso de uma aprendizagem por subordinação, entre seus conhecimentos prévios e o novo conhecimento, munido de materiais potencialmente significativos, diferenciando e reconciliando conceitos e proposições, que pode gerar mudanças significativas, não literais e não arbitrárias, em sua estrutura cognitiva prévia (MOREIRA, 1999).

Unimos esse referencial ao ensino por investigação, o qual, segundo Carvalho (2013), aponta sequências de ensino por investigação como ferramentas metodológicas que conduzem o ensino/aprendizagem de ciências para uma abordagem mais próxima do aprender e fazer ciência. Ainda segundo Carvalho (2013) e Carvalho e Sasseron (2015), em defesa de sequências investigativas para o ensino/aprendizagem de física, o tradicional ensino por transmissão que ignora a liberdade científica dos estudantes e tão presente na prática pedagógica reducionista de muitos docentes não resulta em aprendizagens ativas. Por outro lado, defendem ainda a consolidação nos estudantes de uma cultura científica, dita “enculturação”, que contemple a explicação de fenômenos físicos, num raciocínio mais próximo do hipotético-dedutivo na comunicação oral e escrita, bem como um ensino para aprender a falar de ciências, tomando o aprendiz como um ser ativo e que sistematiza conclusões sob a orientação do professor ou da professora.

Esta é a base que guiou nossa sequência didática. Nosso produto educacional elegeu como subsunçores, ou conhecimentos prévios especificamente relevantes (MOREIRA, 2012; 2013), energia, calor, temperatura, trabalho e equivalente mecânico do calor.

Inicialmente, o educador deve separar a turma em grupos pequenos, por exemplo, cinco integrantes, com a definição de horários específicos para cada grupo, para garantir que toda a turma participe efetivamente das atividades experimentais, manuseando instrumentos de medição, colaborando na montagem dos aparatos, dentre outras atividades, num autêntico trabalho coletivo que abre espaço para o desenvolvimento de um processo de ensino e aprendizagem ativo e investigativo. Isto é, em uma abordagem do tipo laboratório aberto (MOURÃO; SALES, 2018), inserida no ensino de ciências por investigação, a montagem, a realização da atividade, bem como a coleta de informações por parte dos estudantes consistem em atividades cruciais na construção de suas respostas que podem ser guiadas por questionários propostos.

Utilizamos aqui o laboratório aberto, nível 1, no qual o professor fornece os problemas e procedimentos, acompanhados de problematizações, antes e durante a aplicação.

Os problemas são questionários dissertativos, nos organizadores prévios OP1 e OP3, permitindo conclusões abertas que exigem um maior teor de inclusão de princípios e conceitos físicos (MOURA, 2018). Entretanto, o organizador prévio OP2, mesmo não acompanhado de um questionário aberto, é recheado de conceitos importantes como transformações gasosas, teorema do trabalho-energia, energia interna, trabalho mecânico, entre outros, enriquecendo a abordagem do subsunçor trabalho e sua consolidação pelo estudante.

O mapa conceitual, mostrado na Figura A.10, relaciona esses subsunçores elencados anteriormente com os respectivos organizadores prévios associados. Tais organizadores prévios são atividades experimentais acima descritas, quais sejam as atividades experimentais OP1, OP2 e OP3. A seta vertical descendente corresponde à diferenciação progressiva (DP), enquanto que a seta vertical ascendente diz respeito à reconciliação integradora ou integrativa (RI). Os organizadores prévios evocados, com o intuito de intensificar os subsunçores supracitados, são as atividades experimentais. Elas estão classificadas como: primeira atividade experimental (OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO), segunda atividade experimental (OP2 – TRABALHO DE UM GÁS) e terceira atividade experimental (OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR).

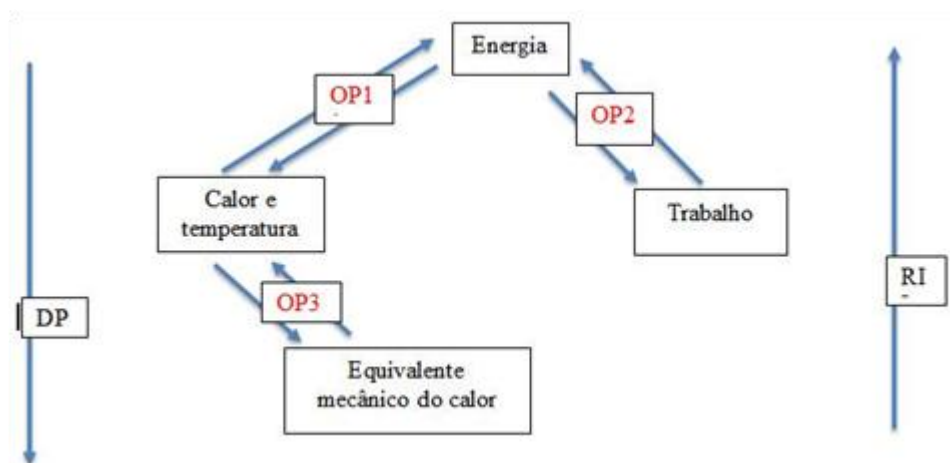


Figura A.10: Mapa relacionando e discriminando os subsunçores eleitos.

Segundo Moreira (2005; 2012; 2013a), esses conceitos se conectam, mas também se diferenciam de tal maneira que, distante de uma aprendizagem mecânica fugaz e em um ensino engessado, a aprendizagem significativa admite esse sobe e desce interdependente e simultâneo, tanto na estrutura cognitiva do aprendiz como no ensino. A organização sequencial e a consolidação, de acordo com Moreira (2011), são princípios programáticos que

compõe o mapa conceitual acima que é a espinha dorsal desse produto. O primeiro princípio pretende sequenciar os tópicos de ensino (subsunçores) de modo a manter uma lógica e coerência ao relacioná-los para facilitar a compreensão do aprendiz e organizar o conteúdo em sua estrutura cognitiva. Portanto, o aproveitamento de um plano de ensino, por exemplo, é ampliado quando as conexões entre os subsunçores, em nosso caso, exibem padrões de dependência e relação. A consolidação (mestria) dos conhecimentos, por sua vez, é auxiliada pela diferenciação progressiva, reconciliação integradora e pela organização sequencial, sendo ainda progressiva, não linear e não imediata (MOREIRA, 2012).

Os organizadores prévios não contêm uma grande abertura para os estudantes levantarem hipóteses acerca do subsunçor a ser explorado, como propõe Carvalho (2013) em se tratando de um ensino de ciências por investigação. Por outro lado, as etapas desses organizadores incluem recolhimento de dados como, por exemplo, volume de água no calorímetro, temperatura da água e do ambiente, dentre outros, além de questionários responsáveis por fazer a transição desses procedimentos para ações intelectuais elaboradas na análise dos fenômenos observados com o auxílio do professor. A seguir, apresentamos a sequência didática a ser trabalhada com os estudantes.

A.3 Sequência Didática

OBJETIVOS:

- Analisar o conceito de energia e suas transformações.
- Aplicar o princípio da conservação da energia na obtenção do equivalente mecânico do calor e da capacidade térmica do calorímetro.
- Calcular o equivalente mecânico do calor por meio do seu análogo elétrico.
- Compreender as diferenças e as reconciliações entre calor e temperatura.
- Compreender o trabalho de uma força, em um sistema físico, como variação de sua energia.

CONTEÚDOS:

- Calorimetria e termodinâmica.

ANOS:

- 2º ano do ensino médio.

TEMPO ESTIMADO:

- Três aulas de 50 minutos.

MATERIAL NECESSÁRIO:

- Um calorímetro com capacidade de 195 mL dotado de uma resistência elétrica e um termômetro analógico;
- um celular que vai atuar como cronômetro e termômetro digital;
- um multímetro;
- uma fonte chaveada AC/DC;
- uma calculadora;
- seringas sem as agulhas;
- uma proveta com capacidade máxima de 100 mL.

DESENVOLVIMENTO:

1ª ETAPA

Nessa etapa, o educador assume uma posição de mediador em torno do subunçor energia, partindo da estrutura cognitiva prévia dos estudantes sobre esse conceito subunçor

(MOREIRA, 1999). Portanto, sendo esse subsunçor mais geral, deve ser conduzido a partir das vivências e acúmulos que os estudantes já trazem consigo a respeito da ideia energia. Isto é, nesse primeiro momento, mais focado no educando, o professor vai fomentar nos estudantes o que eles entendem por energia. Os estudantes devem ser provocados por perguntas como “o que é energia?”, “o que vocês entendem por energia?” ou mesmo “correr atrás de uma bola, subir e descer uma escada e pular de uma árvore tem algo a ver com energia?” (PIETROCOLA *et al.*, 2010).

Uma concepção espontânea ou alternativa que poderia ser discutida com os estudantes durante a execução da 1ª ETAPA desse produto é a ideia de energia como substância que passa de um corpo para outro, análoga à teoria do calórico. Nesse caso é interessante explicar que, segundo Doménech *et al.* (2005), o sistema muda sua configuração. A título de exemplo, quando uma massa cai a certa altura do chão, o nível de referência escolhido, sua energia potencial de gravidade diminui, não é uma substância que sai do corpo, mas sua energia cinética cresce à medida que se aproxima do solo.

Em seguida, discorrer sobre situações cotidianas que estão associadas ao uso de energia: correr, pedalar, nadar, pular, ouvir uma música, assistir um filme, dentre outros. Enunciar o princípio da conservação da energia e suas implicações. Em todas as situações, devemos, como forma de problematizar a relação trabalho-energia, evidenciar que, em todos os exemplos acima citados, e em outros que possam vir a ser encenada pelo professor ou pelos alunos, a variação da energia está relacionada à realização de trabalho e, ainda, que o trabalho consiste numa medida da transferência ou absorção de energia em um sistema. Doménech *et al.* (2005) enfatiza a necessidade de colocar trabalho de uma força como variação de energia de um sistema, pois associado somente a noção de transferência de energia, cria uma concepção incompleta de trabalho uma vez que ele pode aumentar a energia de um sistema.

Devemos ainda estar atentos que em tais sistemas, termodinâmicos por excelência, há a produção de calor que, por sua vez, está relacionado à diferença de temperatura entre os corpos envolvidos na situação estudada. Quando atritamos uma mão à outra, por exemplo, sentimos o aquecimento das ‘palmas’, característico do atrito produzido por trabalho, ou seja, com o aumento da energia interna da mão, temos uma situação em que existe uma diferença de temperatura entre a mão e o ar em suas proximidades e, em consequência, calor. Podemos ainda lançar mão de alguns organizadores prévios (OP) para fazer a ponte entre este momento de problematização e as atividades experimentais seguintes como descrito a seguir.

2ª ETAPA

Essa etapa é a aplicação da primeira atividade experimental que consiste na obtenção da capacidade térmica do calorímetro (OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO). É muito importante deixar os estudantes manipularem os materiais utilizados nesse roteiro, em se tratando de uma sequência de ensino por investigação e, assim, de acordo com Carvalho (2013), incluir ações manipulativas para construção dos conceitos calor e temperatura. Portanto, a determinação da capacidade térmica do calorímetro, em uma perspectiva ausubeliana, deve incluir a manipulação do calorímetro e do termômetro, a leitura do termômetro e da proveta.

Além do mais, caso a sala de aula ou laboratório não tenha um termômetro, usar o aplicativo sugerido pelo roteiro para obter a temperatura ambiente. O educador deve apenas supervisionar os grupos no sentido de tomarem alguns cuidados ao manusearem fontes térmicas, pois a água deve ser fervida a 100°C. Se ainda desejar, o educador pode fabricar junto aos estudantes um calorímetro caseiro e de baixo custo com ou sem uma resistência elétrica acoplada (HOFMANN; GRANDI, 1988; ALVES, 2008). Entretanto, sem a resistência não é possível encontrar a relação entre a caloria e o joule proposta mais adiante.

A diferenciação e a reconciliação entre calor e temperatura devem ser fomentadas pelo docente durante a execução desse experimento, além de subsidiar os estudantes a resolverem o questionário correspondente a essa atividade. A compreensão que, corpos com temperaturas diferentes, transferem energia e que essa energia é conhecida como calor deve ser discutida com os estudantes. Ao término, os estudantes devem também ter assimilado que, temperatura é diferente de calor, ou seja, a primeira é uma medida macroscópica relacionada ao nível de agitação das partículas de um corpo ou sistema (MARTINI; SPINELLI; REIS; SANT'ANNA, 2016), a água de nosso calorímetro, por exemplo, enquanto que calor é uma energia em trânsito que se dá, exclusivamente, pela diferença de temperatura entre dois corpos (MOREIRA, 1998), como a que ocorre entre a água em ebulição e a água a temperatura ambiente dessa atividade.

É muito importante prolongar o debate em torno da ideia de calor com os estudantes nessa etapa para contribuir na sistematização desse conceito (CARVALHO, 2013). Existem estudos que comprovam que professores e estudantes nos cursos de Física e Química apresentaram sérias dificuldades em explicar a diferença entre calor e temperatura (SILVA; LABURÚ; NARDI, 2008). Portanto, nessa reflexão em torno da noção de calor, explicar aos estudantes que calor é energia térmica em trânsito cujo fluxo, espontaneamente, ocorre do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura (BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010b) é distinto, porém se reconcilia ao do conceito de temperatura.

Por outro lado, alguns livros textos adotam uma definição de calor, colocando-o somente como transferência de energia em função da diferença de temperaturas entre corpos

(SEARS; ZEMANSKY; YOUNG; FREEDMAN, 2008), o que pode abrir espaço para a ideia de calor, não como energia, mas como um processo de transferência dela. Essa última definição quando explorada pelo professor, em nossa concepção, deve denotar claramente a diferença de temperatura entre os sistemas envolvidos. Entretanto, a energia que está sendo transferida, em nossa conceituação, é a energia térmica ou a energia interna, fluindo espontaneamente do corpo de maior temperatura para outro corpo de menor temperatura. Portanto, afirmar que calor é transferência de energia não implica dizer que calor está migrando de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura porque calor não pode ser armazenado na matéria (SILVA; LABURÚ; NARDI, 2008). Isso demonstra, em meio a esse debate sobre a natureza e a conceituação de calor, exemplos de não unanimidade na ciência.

Sendo energia em trânsito ou transferência de energia, a definição moderna de calor deve sempre passar pelo fortalecimento da condição de existir diferença de temperatura entre pelo menos dois sistemas (AXT; BRÜCKMANN, 1989). Além do mais, não podemos deixar de mencionar aos estudantes que, considerando calor como transferência de energia, é diferente de trabalho de uma força, pois esse último não precisa de uma diferença de temperatura para variar a energia de um sistema (MOREIRA, 1998).

Recomenda-se ainda que o docente inclua em suas explicações as concepções equivocadas que os cientistas tinham do calor como na teoria do calórico e do flogístico (PIETROCOLA *et al.*, 2010), fortalecendo o diálogo com a história e filosofia da ciência. Esse diálogo é muito importante ao desconstruir nos estudantes uma concepção de ciência pronta, imutável e que nunca comete erros (CHALMERS, 1993; CHAUI, 2000). Segundo Matthews (1995), o ensino de ciências que se desenvolve independente da história e filosofia da ciência, permite criar um abismo colossal que dificulta a aprendizagem dos estudantes além de colaborar para uma formação deficiente dos docentes na área de ciências, distanciando o educador da “trama” histórica e filosófica em que o conhecimento científico foi construído. Medeiros e Monteiro Júnior (2001) contribui com esse debate por meio do estudo de experimentos históricos em acústica na exploração dos princípios físicos embutidos em tais aparatos e as conseqüentes problematizações que esses aparatos provocam. Segundo os autores, mesmo se tratando de uma reconstrução híbrida em relação ao original, os princípios físicos norteadores são conservados nesses aparatos tal como no calorímetro elétrico deste produto.

Duarte (2004) elenca uma série de vantagens que a utilização da história da ciência pode trazer para o ensino das ciências como, por exemplo, um contato mais íntimo com o lado humano da construção de conceitos científicos por parte dos cientistas, uma maior aproximação do trabalho científico na elaboração de teorias da noção prévia que os

educandos carregam sobre o método científico, a ideia fulcral que a ciência é uma construção histórica, social, política e econômica e, assim, obra de pessoas com os mais variados interesses, além de municiar a prática docente como uma forma de renovação didática no ensino das ciências. Dito isto, abaixo segue o roteiro completo desse experimento com seu respectivo questionário:

Escola:	
Data:	Turma:
Estudantes:	

Atividade Experimental: **CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO**

OBJETIVOS

- Aplicar o princípio da conservação da energia por meio do princípio das trocas de calor.
- Calcular a capacidade térmica do calorímetro.
- Compreender a diferença entre calor e temperatura, por meio de medições diretas da água e do calorímetro, e suas possíveis reconciliações.

MATERIAL UTILIZADO

- Um calorímetro com capacidade de 195 mL dotado de um termômetro analógico.
- Uma calculadora.
- Um celular com o aplicativo **Smart Thermometer** instalado para aferir a temperatura ambiente.
- Uma proveta de 100 mL.

PROCEDIMENTO

- Faça a medição da temperatura ambiente da sala de aula por meio do celular. Represente essa temperatura por T_{amb} .
- Coloque 70 mL de água no calorímetro vazio e aguarde o equilíbrio térmico entre eles. Represente essa medida por T_C .
- Adotando a densidade da água 1 g/mL, a massa inicial de água dentro do calorímetro corresponde a 70 g. Represente essa massa por m_1 .
- Em seguida, aqueça 100 mL de água até seu ponto de ebulição, ou seja, 100 °C, supondo a pressão atmosférica local igual a 1 atm. Represente essa temperatura inicial da água por T_0 e a massa aquecida de água por m_2 .

- Aquecida a água a 100 °C, coloque rapidamente essa água no calorímetro e aguarde o equilíbrio térmico entre o calorímetro, a massa m_1 e a massa m_2 . Represente essa temperatura final de equilíbrio por T .

- Apliquem o princípio das trocas de calor para encontrar a capacidade térmica do calorímetro representado por C :

$$\begin{aligned}Q_{\text{calorímetro}} + Q_{\text{água1}} + Q_{\text{água2}} &= 0 \\C \cdot (T - T_C) + m_1 \cdot c \cdot (T - T_C) + m_2 \cdot c \cdot (T - T_0) &= 0 \\C &= \frac{m_1 \cdot c \cdot (T_C - T) + m_2 \cdot c \cdot (T_0 - T)}{T - T_C},\end{aligned}$$

tal que a dimensão da capacidade térmica é dada em calorias por graus Celsius ou calorias por kelvin. Note que o calor específico da água adotado é de 1,0 cal/g.°C.

- Finalmente, responda ao questionário abaixo:

QUESTIONÁRIO

1) Indique o valor que seu grupo encontrou para a capacidade térmica do calorímetro. Justifique sua resposta.

2) Com base nesse experimento, qual a diferença entre calor e temperatura? Como a diferença de temperatura entre o ar da sala e a temperatura da água pode interferir no resultado desse experimento? Justifiquem suas respostas.

3ª ETAPA

Execução da segunda atividade experimental que consiste na compreensão da expansão do ar e a consequente realização de trabalho num subsistema mecânico hipotético por meio do manuseio de seringas (OP2 – TRABALHO DE UM GÁS). O docente deve perguntar aos estudantes sobre esse “subsistema mecânico hipotético” que se refere o roteiro. Explica-los que o êmbolo da seringa está acoplado ou compõe esse subsistema idealizado que troca energia com o sistema (ar na seringa) via trabalho. Caso o termo seja demasiado abstrato para os estudantes, o professor poderá adotar como “subsistema mecânico hipotético” o próprio êmbolo da seringa formado pelo conjunto pistão-biela.

As seringas, sem as agulhas, devem ser distribuídas aos estudantes do grupo de tal modo que cada um deve ter sua seringa. O estudante deve ser personagem principal e, portanto, tomar a iniciativa nessa atividade que é muito simples de ser realizada e que tem o objetivo de robustecer significativamente o subsunçor trabalho (MOURÃO; SALES, 2018). Em meio ao experimento, perguntar aos estudantes como a força do ar realiza trabalho ou ainda, fazendo as devidas aproximações, colocar essa transformação termodinâmica como adiabática, já que ocorre com certa rapidez, sem permitir trocas de calor significativas com o meio externo (ARRIBAS, 1988, p. 30; PIETROCOLA *et al.*, 2010, p. 181).

É sabido que Joule explorou o trabalho mecânico, com a queda das massas, para aquecer a água contida no calorímetro porque esse experimento, o equivalente mecânico do calor, imortalizou a figura desse cientista inglês por meio da igualdade $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$. Por conseguinte, a escolha desse roteiro tinha que incluir uma atividade, por mais simples que seja no tocante à realização de trabalho mecânico e sua relação com o subsunçor, já debatido na 1ª ETAPA, energia. Procure evocar o teorema do trabalho-energia, com um caráter puramente qualitativo, associando trabalho de uma força resultante, no caso do experimento essa força poderia ser à força do ar pressurizado sobre o êmbolo da seringa, e sua consequente variação de energia no sistema. Incluir nas explicações que trabalho de uma força pode diminuir a energia de um sistema, quando transfere energia, mas também pode aumentar a energia, por exemplo, de um subsistema em sua vizinhança do qual foi transferida essa energia.

Outra recomendação para a aplicação desse organizador prévio é abrir mão de conceitos mais pormenorizados como forças internas e forças externas. Esses conceitos podem ser abordados em casos mais elaborados e que exijam dos estudantes uma maior base subsunçora, mais estável. Um exemplo trivial que pode ser utilizado, com fins em mostrar que só existe trabalho, fisicamente falando, quando o deslocamento é paralelo a aplicação da força ou de sua componente, é o da força gravitacional. Neste caso, mesmo movendo um

corpo, sem gerar desnível algum, a força peso não executa trabalho, adotando o solo como nível de referência. Citar ainda, a título de exemplo, que carregar uma mala “pesada”, segundo o senso comum, em uma passarela horizontal não implica em trabalho porque a força aplicada pela pessoa na mala é perpendicular ao deslocamento da mala.

Diferentemente dos outros organizadores prévios, essa segunda atividade não é acompanhada de um questionário, visto que ela deve ser calcada na discussão (problematização) sobre a ideia de trabalho como uma forma, escolhida pela natureza, para variar energia. Contudo, o docente deve se ater a comunicação oral dos estudantes diante das problematizações levantadas e, segundo Carvalho (2013), solicitar que escrevam um texto envolvendo o subsunção trabalho com exemplificações em uma linguagem mais formal, que se aproxima do conceito físico de trabalho, que pode ser lido pelo estudante diante da turma e debatido logo em seguida. Esse texto, dentro de uma perspectiva de um ensino por investigação, pode ser mais uma maneira do professor tentar encontrar indícios de uma aprendizagem significativa nos estudantes podendo exibir um desenvolvimento da linguagem científica escrita.

Diante do exposto, tomar cuidado com a definição de trabalho de uma força como somente transferência de energia já que pode alimentar a única ideia de diminuição de energia, como, a título de exemplo, a apresentada por Calçada e Sampaio (1985) que também inclui trabalho de uma força como transformação de energia (HEWITT, 2002). Porém, como já dito anteriormente, trabalho de uma força também produz aumento de energia e, portanto, o recomendado é relacionar trabalho de uma força a variação de energia, pois inclui crescimento ou decréscimo energético (DOMÉNECH *et al.*, 2005). Segue abaixo o roteiro dessa atividade:

Escola:	
Data:	Turma:
Estudantes:	

Atividade Experimental: **TRABALHO DE UM GÁS**

OBJETIVO

- Compreender a concepção de trabalho como variação de energia de um gás para um subsistema mecânico hipotético na sua vizinhança.

MATERIAL UTILIZADO

- Seringas sem as agulhas.

PROCEDIMENTO

- Distribua para cada estudante uma seringa;
- adotando o ar atmosférico como um gás ideal, coloque a extremidade, sem agulha, da seringa na palma da mão esquerda, vedando essa extremidade;
- pressione o êmbolo com a mão direita. O ar dentro da seringa é comprimido, ou seja, há um aumento da pressão com diminuição do volume;
- enfim, libere o êmbolo da seringa. O ar da seringa desloca-se, expandido seu volume e realizando um trabalho sobre a sua vizinhança.

4ª ETAPA

Aplicação da terceira atividade experimental (OP3 – EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR). Temos o subsunçor mais específico a ser explorado: o equivalente mecânico do calor pelo seu similar elétrico. Trata-se de uma reconstrução de um experimento histórico, mesmo utilizando um calorímetro elétrico, que preserva o mesmo princípio físico do calorímetro de pás construído por Joule: a energia sempre se conserva (MEDEIROS; MONTEIRO JÚNIOR, 2001; ALVES, 2008).

Para calcular a relação entre a caloria e o joule, apelamos para o equivalente elétrico do calor, ou seja, relacionamos a equivalência entre calor e energia elétrica, dado que a reprodução desse aparato é cara e, para alguns autores, esse experimento é irreproduzível (SOUZA; SILVA; ARAUJO, 2014). Note que, originalmente, Joule usou trabalho mecânico, mas em nosso aparato foi explorado o trabalho da força elétrica. Novamente fortalecer o protagonismo dos estudantes e, o educador, deve orientar e supervisionar toda a etapa permitindo que eles realizem a leitura e a montagem do aparato (CARVALHO, 2013). Lembrar aos estudantes que o valor da capacidade térmica do calorímetro já foi obtido por eles na 2ª ETAPA. Explicar o cuidado ao utilizar o multímetro e como colocá-lo no modo voltímetro. Estimular os estudantes a explicarem as modalidades de energia envolvidas direta e indiretamente nesse experimento ou ainda, as possíveis perdas e incrementos de energia. Colocar em cheque a calibração dos equipamentos envolvidos nessa atividade.

Nessa fase da sequência didática, a parte elétrica oscila muito, já que a corrente varia entre 1,10 A e 1,18 A e a diferença de potencial pode ficar a cargo dos estudantes como recomendado no roteiro. Resolvemos adotar para corrente elétrica um valor igual a 1,14 A enquanto que para tensão de saída ficava a cargo dos estudantes, pois o multímetro deve ser associado em paralelo à resistência do calorímetro. O intervalo de tempo de execução do experimento é muito importante e resolvemos adotar 5 min ou 300 s. Em realizações anteriores, foi utilizado um intervalo de tempo maior, como, por exemplo, 10 min ou até 20 min, acarretando em grandes perdas ôhmicas ou forte dissipação de energia. Outra sugestão, considerando o alto valor do calor específico da água, é inserir no vaso calorimétrico um volume mínimo de água, o possível para deixar submersa a resistência, para encontrar valores expressivos de temperatura caso o termômetro seja pouco sensível e visando um valor mais preciso para o equivalente elétrico do calor.

Durante a realização dessa etapa é crucial que o educador levante perguntas aos estudantes a respeito das modalidades de energia em jogo nesse experimento, considerando que esta sequência didática tem um caráter investigativo. Por exemplo, “porque a resistência aumenta sua temperatura?”, “o que acontece a nível microscópico na resistência que a faz

aquecer?”, “porque a água dentro do calorímetro aquece?”, “existe diferença de temperatura entre a resistência do calorímetro e a água?”, dentre outras que sejam pertinentes e surjam durante a experimentação. Esses questionamentos aguçam a capacidade dos educandos no que diz respeito às modalidades de energia envolvidas nesse organizador prévio, uma vez que, nesses estímulos, encontram-se conceitos como energia elétrica, calor, quantidade de calor, equilíbrio térmico, temperatura e energia interna.

A aplicação desse organizador prévio, em função das limitações do aparato adotado, não é confirmar a igualdade $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$. Contudo, longe de validar o resultado tabelado internacional para o equivalente mecânico do calor por meio de um calorímetro elétrico, o mais importante é explorar didaticamente as discrepâncias entre os valores encontrados pelos estudantes e o valor tabelado. Fomente uma discussão com os estudantes sobre as motivações desses resultados divergentes e lembrem aos estudantes do princípio da conservação da energia, como, por exemplo, as perdas de energia por efeito Joule nos fios do circuito elétrico e a radiação que bombardeia a área externa do calorímetro, por mais que o efeito seja pequeno. Essas discrepâncias também revelam aos aprendizes que elaborar e construir ciência são atividades humanas carregada de dificuldades, aperfeiçoamentos, avanços e retrocessos, uma noção de ciência que se aproxima das atividades científicas reais (CHALMERS, 1993; MATTHEWS, 1995; CHAUI, 2000; MEDEIROS; MONTEIRO JÚNIOR, 2001; DUARTE, 2004). Finalmente, a avaliação dessa atividade é um pequeno questionário que deve ser respondido pelos estudantes logo após a realização desse experimento. O roteiro e o questionário desse organizador prévio seguem abaixo:

Escola:	
Data:	Turma:
Estudante:	

Atividade Experimental: **EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR**

OBJETIVOS

- Aplicar o princípio da conservação da energia.
- Calcular o equivalente mecânico do calor pelo seu análogo elétrico.

MATERIAL UTILIZADO

- Um calorímetro com capacidade para 195 mL dotado de uma resistência elétrica e um termômetro analógico.
- Um celular com o aplicativo **Hybrid Stopwatch & Timer** para ser usado como cronômetro.
- Uma calculadora.
- Uma fonte chaveada AC/DC.
- Dois conectores machos de 6 mm com cores distintas.
- Um conector fêmea p4 com borne de alimentação.
- Um multímetro que será usado como voltímetro.

MONTAGEM EXPERIMENTAL

- Com uma chave de fenda apropriada, aperte os parafusos do conector fêmea p4 nos conectores de 6 mm. Para cada terminal do conector p4 coloque um conector de 6 mm.
- Unir o plug da fonte chaveada ao conector fêmea p4.
- Encaixe cada conector de 6 mm nos respectivos terminais do calorímetro.
- Associe em paralelo o multímetro com os terminais do calorímetro.

PROCEDIMENTO

- Coloque água no calorímetro até seu volume máximo 195 mL. Aproximando a densidade da água para 1 g/mL, temos cerca de 195 g de água. Represente essa medida por *m*.

- Considerando a capacidade térmica do calorímetro, faça a medição da temperatura da água dentro do calorímetro com o termômetro analógico. Para isso, espere a água entrar em equilíbrio térmico com o calorímetro. Represente essa temperatura por $T_{inicial}$.
- Ligue a resistência do calorímetro por 5 min, ou seja, 300 s. Use o cronômetro do celular para medir esse tempo. Represente esse intervalo de tempo por Δt .
- Em seguida, faça a leitura da temperatura final da água através do termômetro analógico do próprio calorímetro. Aguarde a existência de equilíbrio térmico entre a água e o calorímetro. Represente essa temperatura por T_{final} .
- Obtenha a potência dissipada do calorímetro através da expressão $P = U \cdot i$, com $i = 1,14 A$. A diferença de potencial U é dada pelo multímetro. Considere a unidade de medida da potência em watts.
- Aplique o princípio da conservação da energia para calcular, com o uso de uma calculadora, o equivalente mecânico do calor e substitua os valores encontrados na expressão abaixo:

$$E_{elétrica} = Q_{calorímetro} + Q_{água}$$

$$P \cdot \Delta t = C \cdot \Delta T + m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$P \cdot \Delta t = (C + m \cdot c) \cdot (T_{final} - T_{inicial}).$$

A dimensão da energia elétrica é em joules e a dimensão da quantidade de calor transferida para a massa de água é em calorias. Adote o calor específico da água $c = 1,0 \text{ cal}/(g \cdot ^\circ\text{C})$. A capacidade térmica do calorímetro já foi obtida em um experimento (OP1 – CAPACIDADE TÉRMICA DO CALORÍMETRO) anterior a esse.

- Finalmente, responda o questionário que se encontra abaixo.

QUESTIONÁRIO

- 1) Indique o valor encontrado pelo seu grupo para o equivalente mecânico do calor. Porque o valor encontrado para o equivalente mecânico do calor foi diferente do valor usualmente encontrado na literatura $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$? Tente argumentar a luz do princípio da conservação da energia.
- 2) De acordo com a atividade experimental, expliquem todas as modalidades de energia que seu grupo conseguiu identificar. Justifique sua resposta com argumentos físicos.

AVALIAÇÃO:

Com foco em evidências de aprendizagem significativa nos estudantes, o educador deve encontrar essas pistas nos questionários, elaborados dentro de uma abordagem de ensino de física por investigação na qual as perguntas são abertas e dissertativas, propiciando argumentações e explicações que prima por termos científicos, princípios físicos inclusos nas experimentações e por expressões matemáticas relacionadas com tais princípios ou leis físicas (CARVALHO; SASSERON, 2015).

Zelar por outras formas de avaliação como, por exemplo, na oralidade dos estudantes em explicar os fenômenos físicos implicados nas atividades experimentais, ou ainda, estimular os estudantes a encontrarem paralelos entre situações do cotidiano com os subsunçores eleitos nessa sequência didática. Moreira (1999) sugere que, em busca de traços de uma compreensão significativa de conceitos ou proposições, os estudantes sejam submetidos a situações não usuais, muito diferente das situações mecânicas, em contextos distintos nos quais devam apresentar respostas com sinais de transformação do conhecimento aprendido.

A avaliação, formativa e centrada na aprendizagem significativa, não é trivial e, sempre que possível, os experimentos devem ser refeitos pelos estudantes, já que eles estão sendo submetidos a uma situação nova e com pouca familiaridade (MOREIRA, 2012; CARVALHO, 2013). Os questionários que seguem esses organizadores prévios servem para auxiliar o educador a procurar indícios de aprendizagem significativa nos estudantes. Esses questionários também podem ser alterados de acordo com as necessidades dos docentes, mostrando o alto grau de flexibilidade dessa sequência didática. Note que os questionários não têm um limite de linhas para as respostas dos estudantes. Essa manobra foi proposital e com a finalidade de permitir que as suas soluções sejam sem limitações, permitindo uma argumentação livre e sem os freios que certa quantidade de linhas forçosamente traz.

Outro recurso avaliativo que o educador pode explorar é o uso de mapas conceituais desde que os estudantes tenham familiaridade com essa ferramenta que deve ser apresentada e trabalhada com eles previamente (MOREIRA, 2005; 2013a). O professor pode solicitar que cada estudante faça um mapa conceitual usando os subsunçores escolhidos nessa sequência de ensino investigativa ou um mapa conceitual por grupo, em casos em que a turma é numerosa, acompanhado de uma explicação escrita e uma comunicação oral, com a participação da turma, do arranjo dos conceitos subsunçores, setas e conectivos que compõe o diagrama, baseado em uma linguagem mais científica e formal como recomenda Carvalho (2013).

Além disso, devemos levar em consideração que uma aprendizagem significativa, na perspectiva cognitivista de Ausubel, não ocorre de maneira imediata ou abrupta, segundo Moreira (2013a), mas progressivamente, de modo não linear, com possíveis obliterações, em um contínuo entre a aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa definida como zona cinza (MOREIRA, 2012). Assim sendo, o mais importante é submeter os estudantes a situações desafiadoras, não típica e diferente das elaboradas pelos livros textos, permitindo-os uma aprendizagem significativa ou, se não, gradualmente significativa dentro de uma zona cinza, do que uma mera aplicação mecânica de situações usuais.

A.4 Referências Bibliográficas

- ALVES, P. P. **A experiência de Joule revisitada**. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado em Física Laboratorial, Ensino e História da Física) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008.
- ARRIBAS, S. D. **Experiências de física ao alcance de todas as escolas**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora FAE, 1988, p. 71-84.
- AXT, R.; BRÜCKMANN, M. E. O conceito de calor nos livros de ciências. **Cadernos Catarinenses de Ensino de Física**, v. 6, n. 2, p. 128-142, 1989.
- BÔAS, N. V.; DOCA, R. H.; BISCUOLA, G. J. **Física 2**. 1ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2010b, p. 25-26, p. 50-53.
- CALÇADA, C. S.; SAMPAIO, J. L. **Física clássica: dinâmica, estática e hidrostática**. 1ª ed. São Paulo: Editora Atual, 1985, p. 191-215.
- CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Ciências por Investigação: Condições para implementação em sala de aula**. 1ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013, p. 1-20.
- CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H. Ensino de física por investigação: referencial teórico e as pesquisas sobre as sequências de ensino investigativas. **Ensino Em Re-Vista**, v. 22, n. 2, p. 249-266, 2015.
- CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** Tradução de Raul Finker. 1ª ed. São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.
- CHAUI, M. A ciência na história. In: CHAUI, M. (Ed.). **Iniciação a filosofia**. São Paulo: Editora Ática, 2000, p. 320-333.
- DOMÉNECH, J. L.; GIL-PEREZ, D.; TORREGROSA, J. M.; VALDÉS, P. A introdução dos conceitos de trabalho e energia: exemplo de programa de atividades para orientar o trabalho dos estudantes. In: CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. (Org.). **A necessária renovação no ensino das ciências**. 1ª ed. São Paulo: Cortez Editora, 2005, p. 127-151.
- DUARTE, M. C. A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, p. 317-331, 2004.
- HEWITT, P. **Física conceitual**. 9ª ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2002, p. 114-120, p. 268-272.
- HOFMANN, M. P.; GRANDI, B. C. S. Laboratório caseiro: um calorímetro alternativo. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 5, n. 1, p. 47-49, 1988.
- MARTINI, G.; SPINELLI, W.; REIS, H. C.; SANT'ANNA, B. **Conexões com a física 2: estudos do calor, óptica geométrica e fenômenos ondulatórios**. 3ª ed. São Paulo: Editora Moderna, 2016, p. 14-18.
- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

- MEDEIROS, A.; MONTEIRO JÚNIOR, F. N. A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino da física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS, 3., 2001. **Atas** [...]. Atibaia: ENPEC, 2001. Disponível em: <<http://abrapecnet.org.br/enpec/iii-enpec/o12.htm>>. Acesso em: 25 dez. 2018.
- MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 4, n. 2, p. 38-44, 2005. Revisado em 2012.
- MOREIRA, M. A. Energia, entropia e irreversibilidade. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, n. 9, p. 1-28, 1998.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 1ª ed. São Paulo: EPU, 1999, p. 151-165.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa crítica. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, 3., 2000. **Atas** [...]. Lisboa: EIAS, 2000, p. 33-45. Revisado e estendido.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, 5., 2006. **Atas** [...]. Madri: EIAS, 2006.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 3, p. 25-46, 2011.
- MOREIRA, M. A. Al final, que és aprendizaje significativo? **Revista Currículum**, n. 25, p. 29-56, 2012.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa em mapas conceituais. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, v. 24, n. 6, p. 1-49, 2013a.
- MOURÃO, M. F.; SALES, G. L. O uso do ensino por investigação como ferramenta didático-pedagógica no ensino de física. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 5, p. 428-440, 2018.
- MOURA, F. A. Sequência de ensino investigativa – SEI. In: MOURA, F. A. **Ensino de física por investigação: Uma proposta para o ensino de empuxo para alunos do ensino médio**. Belém: UFPA, 2018, p. 29-43.
- PIETROCOLA, M.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em contextos: pessoal, social e histórico: energia, calor, imagem e som**. 1ª ed. São Paulo: Editora FTD, 2010, p. 96-117, p. 162-165, p. 216-259.
- SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: termodinâmica e ondas**. 12ª ed. São Paulo: Editora Addison Wesley, 2008, p. 190-191.
- SILVA, O. H. M.; LABURÚ, C. E.; NARDI, R. Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 383-396, 2008.
- SOUZA, R. S.; SILVA, A. P. B.; ARAUJO, T. S. James Prescott Joule e o equivalente mecânico do calor: reproduzindo as dificuldades do laboratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, 2014.

