

Lara Cardoso Nunes da Silva

**A História e Filosofia da Ciência como subsídio para o ensino da Termodinâmica: a
reprodução do experimento do equivalente mecânico do calor**

Caraguatatuba

2021

LARA CARDOSO NUNES DA SILVA

A História e Filosofia da Ciência como subsídio para o ensino de Termodinâmica: a reprodução do experimento do equivalente mecânico do calor

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus de Caraguatatuba para obtenção do título de graduado em Licenciatura em Física. Orientador: Prof. Dr. Alex Lino

Caraguatatuba

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Serviço de Biblioteca e Documentação do IFSP Câmpus Caraguatatuba

S586h Silva, Lara Cardoso Nunes da
A história e filosofia da ciência como subsídio para o ensino da termodinâmica: a reprodução do experimento do equivalente mecânico do calor. / Lara Cardoso Nunes da Silva. -- Caraguatatuba, 2021.
26 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Alex Lino.
Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) -- Instituto Federal de São Paulo, Caraguatatuba, 2021.

1. Física. 2. História da ciência. 3. Filosofia da ciência. 4. Ensino de física. 5. Mapas conceituais. I. Lino, Alex, orient. II. Instituto Federal de São Paulo. III. Título.

CDD: 530

Ficha catalográfica elaborada por Elis Regina Alves dos Santos
Bibliotecária - CRB 8/8099



Ministério da Educação
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Câmpus Caraguatatuba
DIRETORIA ADJUNTA EDUCACIONAL

OFÍCIO 63/2021 - DAE-CAR/DRG/CAR/IFSP

Nome: SILVA, Lara Cardoso Nunes da

Título: A História e Filosofia da Ciência Como Subsídio Para o Ensino de Termodinâmica: A Reprodução do Experimento do Equivalente Mecânico do Calor

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, câmpus Caraguatatuba para a obtenção do título de graduado em Licenciatura em Física.

Aprovado em: 19 de Fevereiro de 2021

Banca Examinadora

Prof. Dr. Alex Lino

Instituto Federal de São Paulo - Câmpus Caraguatatuba

Julgamento: Aprovado

Prof. Ms. Jurandi Leão Santos

Instituto Federal de São Paulo - Câmpus Caraguatatuba

Julgamento: Aprovado

Profª. Dra. Regina Thaise Ferreira

Instituto Federal de São Paulo – Câmpus Caraguatatuba

Julgamento: Aprovado

Documento assinado eletronicamente por:

- **Regina Thaise Ferreira Bento**, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO, em 15/03/2021 19:05:54.
- **Alex Lino**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/03/2021 15:34:41.
- **Jurandi Leao Santos**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/02/2021 12:03:37.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/02/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifsp.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 151073

Código de Autenticação: 28cc6cd6f1



Avenida Bahia, 1739, Indaiá, CARAGUATATUBA / SP, CEP 11665-071

Fone: Sem Telefones cadastrados

Dedico a todos que estiveram ao meu lado nesses últimos 4 anos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus professores e aos servidores do IFSP – Câmpus Caraguatatuba que me acompanharam e auxiliaram nessa jornada.

Agradeço ao meu orientador, Alex Lino, pela orientação, paciência, ajuda e encorajamento sem o qual eu certamente não teria terminado esse trabalho.

Agradeço aos meus amigos por também sempre me encorajarem, acreditarem no meu potencial e nunca desistirem de mim. À Larissa, por estar sempre ao meu lado e me apoiar, e por ser uma amiga incrível. Ao Rafa, por não reclamar nenhuma vez de termos que refazer os relatórios de estágio por causa da formatação, e também por suportar meus bolos e desculpas pra não acordar cedo. Ao Zé, pela companhia e pelas várias conversas. Ao Rodrigo, por todos os bolinhos e a preocupação. Ao Kaua, por ter me ensinado tanta coisa. Ao Bruno, por me socorrer toda vez que meus cálculos deram errado. Ao Lucas, por sempre me ouvir e incentivar. Às meninas do Clube do Toddynho, pelas distrações e pelo apoio, pelas mensagens de carinho e, talvez principalmente, pelas abobrinhas.

Por fim, agradeço à minha irmã, Ju, por me aturar durante 22 anos e por sempre me escutar falando sobre aquilo que gosto mesmo não entendendo nada de Física.

RESUMO

O trabalho propôs o desenvolvimento, aplicação e análise de resultados de sequências didáticas de ensino voltadas à experimentação de conceitos físicos contextualizados a partir da História e Filosofia da Ciência, no tema das contribuições da Termodinâmica para as Revoluções Industriais, especificamente, a conservação de energia. A verificação do impacto dessa vertente histórico-filosófica e experimental no processo de ensino-aprendizagem dos estudantes foi feita a partir de pré e pós-testes na forma de mapas conceituais, sendo possível perceber, a partir dos resultados, não apenas considerável assimilação das figuras e contexto histórico, como também a compreensão e conexão de alguns dos conceitos físicos apresentados.

Palavras-chave: História da Ciência. Filosofia da Ciência. Termodinâmica. Ensino de Física. Mapas conceituais.

ABSTRACT

This work proposed the development, application and analysis of results of didactic sequences aimed at experimenting physical concepts contextualized by the History and Philosophy of Science, on the theme of Thermodynamics contributions to the Industrial Revolutions and vice versa, specifically the conservation of energy. The verification of the impact of this historical-philosophical and experimental aspect in the teaching and learning process of students was made from pre and post-tests in the form of concept maps, having been possible to perceive by the results not only a considerable assimilation of the historical context and figures, but also the understanding and connection of some of the presented physical concepts.

Keywords: History of Science. Philosophy of Science. Thermodynamics. Physics teaching. Concept mapping.

SUMÁRIO

1	Introdução e Fundamentação Teórica.....	11
2	Objetivos	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos.....	13
3	Material e Método	14
4	Resultados e Discussão.....	20
5	Conclusão	25

1 Introdução e Fundamentação Teórica

Em um cenário de desmotivação que acomete não apenas grande parte dos estudantes como também os professores, pesquisas voltadas aos métodos de ensino se mostram cada vez mais necessárias. Ainda que Silva (2006) tenha trazido atenção a esse cenário há mais de uma década, trabalhos mais recentes como o de Leão (2018) mostram que, inclusive por questões econômicas, a realidade do ensino não chegou a mudar.

Nesse contexto, como se deve, então, abordar a ciência sem reduzi-la a uma mera caricatura de si mesma? Como abordar seus conceitos auxiliando a ressignificação do processo de ensino-aprendizagem, para que este ocorra de maneira significativa? A inserção da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino de Física vem, paulatinamente, se apresentando como uma das possíveis soluções para essas questões (SILVA, 2006).

Matthews (1995) destaca que a reaproximação estava acontecendo entre HFC e o ensino de Ciências, citando alguns exemplos que também são usados por Damasio e Peduzzi (2017), em um periódico publicado duas décadas depois, ao enfatizar os benefícios que uma abordagem articulada, fundamentada e coerente de HFC aplicada ao ensino pode trazer. Alguns desses benefícios incluem: o aumento da predisposição em aprender, a aproximação da ciência dos interesses pessoais e particulares da comunidade, o auxílio na compreensão dos conceitos e da ciência como sendo construções humanas, bem como contribuições no desenvolvimento do senso crítico e reflexivo do aluno, o que permite que ele se aproprie do conhecimento e utilize-o em seu dia a dia. Esses argumentos também são usados quando o questionamento é diferente: por que apresentar conceitos que já não são mais aceitos ou considerados válidos? (DAMASIO, PEDUZZI, 2017)

A visão da ciência como verdadeira, absoluta e imutável não estimula a formação de um cidadão crítico; mesmo no meio científico há uma grande dificuldade em garantir explicações cada vez mais adequadas aos fenômenos estudados, de forma que a ciência está sempre se modificando e transformando-se a se adequar a um modelo que melhor se aproxime da realidade (DAMASIO, PEDUZZI, 2017).

Ao comentar sobre a desconstrução do que a autora chama de “mito dos grandes gênios”, Silva (2006) realça ainda outro ponto de grande importância, ao afirmar que

[...] como Galileu, Darwin, Lavoisier ou Einstein que teriam descoberto a verdade através de um método científico infalível, corrigindo o erro dos ignorantes de épocas anteriores e a visão de que o conhecimento é um produto acabado e que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. (SILVA, 2006, p.10)

Quando comparado aos demais, o diferencial presente no artigo já citado de Matthews

(1995) é o fato de que o autor também realça as contribuições que essa abordagem histórica fornece ao professor em si, contribuindo com sua formação, sua compreensão da ciência, e colaborando com o desenvolvimento de epistemologias. Erika Takimoto, professora, escritora e política brasileira, traz um comentário de extrema pertinência ao dizer que

Eu sempre entendi a física como uma ciência que, de alguma maneira, nos aproxima da realidade. A partir do momento em que consegui “ler” o mundo de uma forma diferente daquele que se me apresentou à percepção imediata, fiquei entusiasmada por descobrir os limites dessa ciência e de que forma ela foi estruturada (TAKIMOTO, 2009, p.10, grifo da autora).

Na frase “de que forma ela foi estruturada”, Takimoto (2009) se refere à estruturação da ciência, ou seja, sua construção e, ao longo do desenvolvimento do livro, a autora relata suas experiências pessoais como professora em sala de aula a partir dessa perspectiva. A obra se destacou quando foi publicada por ser uma das poucas que retira a ideia do uso da HFC da teoria e a aplica na prática.

É importante destacar, entretanto, que a HFC não responde a todos os anseios criados pela crise na educação (MATTHEWS, 1995). A utilização inadequada da concepção histórica e filosófica pode reduzir essa contextualização a apenas uma memorização de fatos, nomes de cientistas e datas, sem abranger os fatores sociais, políticos, culturais e econômicos envolvidos na elaboração e permanência de teorias e conceitos. Isso, por sua vez, também torna necessária a conscientização sobre a importância da alfabetização científica. Segundo Martins (2016)

[...] Uma alfabetização científica — envolvendo tanto o conhecimento de conteúdos quanto o conhecimento *sobre* a ciência — torna-se necessária para que se possa apreciar e compreender o particular olhar que a ciência tem a oferecer sobre o real. A ciência contribui enormemente para “moldar” nossa sociedade [...] de um modo profundo, e uma educação científica de qualidade é necessária para que se possa compreender e avaliar o papel da ciência no mundo atual, e estabelecer um diálogo com esse tipo de conhecimento (MARTINS, 2016, p. 425, grifo do autor).

Dessa forma, este trabalho se propôs a possibilitar a discussão da construção da ciência dentro da sala de aula, permitindo aos alunos o contato com a dimensão da controvérsia na área da pesquisa científica, inserindo a experimentação e contextualização histórica como, inclusive, tentativas de incentivação ao estudo. A construção dessa ideia foi fundamentada na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel (1918-2008), em que os novos conceitos assimilados pelos alunos são associados a conceitos já previamente conhecidos por eles. O autor chama os conhecimentos prévios de conceitos subsunçores, que são estruturas cognitivas de conhecimento. Ausubel (apud MOREIRA; MASINI, 1982) afirma que “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe”. A aprendizagem significativa ocorreria, então, quando esses subsunçores interagem com as novas informações que

o aluno assimila, formando novas estruturas e, em muitos casos, novos subsunçores, no que o autor chama de “obliteração subsunçora”. O conhecimento, então, deve partir de conceitos “gerais”, que se conectam aos conceitos mais específicos, em uma forma de hierarquia conceitual. Isso permite que o aluno se aproprie do conhecimento, ampliando e modificando sua estrutura cognitiva e facilitando a compreensão de novas informações a partir de sua conexão com os conceitos subsunçores, e é o oposto da chamada aprendizagem mecânica, em que as novas informações apresentam poucas, ou até mesmo nenhuma conexão com os subsunçores (MOREIRA, 2013a).

A vertente aplicada nesse projeto, a aprendizagem significativa subversiva, além de incentivar a formação dessas conexões, busca auxiliar o aluno no desenvolvimento de sua visão crítica, inclusive sobre a cultura em que está inserido, sem a necessidade de retirá-lo dela. Essa visão crítica, que pode ser aplicada por meio da incentivação à aprendizagem de como formular perguntas em vez de respostas e entender tais perguntas como instrumentos de percepção do mundo, pode auxiliar o aluno em seus estudos, superando o conceito de “verdades absolutas”, ou “grandes gênios” da ciência, e também na realidade cotidiana fora de sala de aula (MOREIRA, 2013a).

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

- Analisar o potencial da inserção da História e Filosofia da Ciência (HFC) como estimulante à ressignificação da Física no cotidiano dos alunos a partir da reprodução de experimentos históricos, como a máquina térmica de Joule, no contexto de transformação de energia.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar o desenvolvimento histórico da ideia de transformação de energia durante a Revolução Industrial, bem como as contribuições feitas por outros pesquisadores, indicados na sequência didática, além de James Joule;
- Reproduzir o experimento;
- Elaborar sequências didáticas baseadas na HFC e experimentação, a partir dos objetivos anteriores;
- Verificar o impacto do uso dessas sequências didáticas no processo de aprendizagem dos alunos durante as aulas de Termodinâmica.

3 Material e Método

De forma a destacar as diferentes contribuições para o desenvolvimento dos conceitos abordados, a busca de uma série de referências para a contextualização histórica foi indispensável, procurando na literatura as conexões entre o desenvolvimento da Termodinâmica e os eventos socio-histórico-culturais do período em questão. Algumas dessas referências incluem o trabalho de Joule (1850), Kondepudi e Prigogine (2015) e também Lino (2016). O consenso encontrado foi de que as necessidades sociais e econômicas da época em questão foram um fator que impulsionou o estudo para o aperfeiçoamento das máquinas térmicas. Essas referências foram utilizadas também na elaboração de um plano de aula.

O experimento reproduzido, levando em consideração que o tema escolhido havia sido Termodinâmica, e no contexto da Revolução Industrial, foi o experimento de James Prescott Joule (1818-1889) sobre o equivalente mecânico do calor. Lino (2016), sobre o princípio, afirma:

[...] Sua ideia se fundamenta na negação da possibilidade da aniquilação de qualquer força na natureza, ou seja, nenhum trabalho pode ser produzido sem um efeito correspondente. Desta forma, para Joule, as forças fundamentais da natureza seriam indestrutíveis. Esses efeitos como a eletricidade, o magnetismo, a queda de corpos e a variação de volume de uma amostra gasosa serão fontes de estudo na busca de um equivalente mecânico para o calor (LINO, 2016, p. 298).

Foram vários os experimentos realizados por Joule para encontrar o equivalente mecânico do calor. Um deles consistia em uma corrente elétrica passando por uma bobina imersa em água; as observações de Joule eram numerosas e variadas, sendo ele capaz de chegar a uma série de conclusões extremamente relevantes para sua pesquisa, como a proporção entre o calor liberado e a resistência do condutor. Foi por meio dessas análises que Joule iniciou sua concepção de conversão entre as “forças” da natureza. Entre 1841 e 1843, Joule publicou mais dois trabalhos sobre suas pesquisas: *On the Electric Origin of the Heat of Combustion* e *On the Heat evolved during the Electrolysis of Water*, e é a partir deles que surge uma importante contribuição dele sobre o tema, relacionando dois fenômenos que até então acreditava-se serem distintos: efeitos térmicos e efeitos químicos (LINO, 2016).

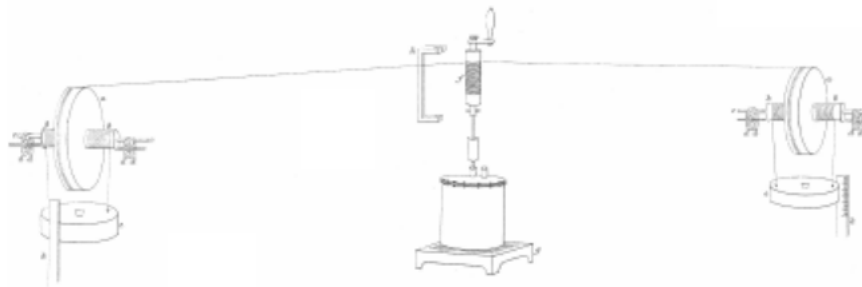
Ainda em 1843, Joule publicou um outro artigo, *On the Calorific Effects of Magneto-Electricity, and on the Mechanical Value of Heat*, dividido em duas partes. A primeira parte buscou analisar a natureza do calor, se ele podia ser apenas transferido, ou também gerado. Diferentemente do que dizia a teoria do calórico, Joule não acreditava que o calor se tratasse de uma substância, mas sim um estado de vibração, e como tal, poderia ser induzido através de

ação mecânica (LINO, 2016). É a segunda parte do trabalho que descreve o experimento aqui utilizado, uma tentativa de provar a convertibilidade entre ação mecânica e efeito térmico. Joule (1850) cita um trabalho prévio realizado pelo cientista Benjamin Thompson (1753-1814), afirmando que: “uma das partes mais importantes do artigo do Conde Rumford, apesar de ser uma parte a que foi dada pouca atenção, é aquela em que ele estima a quantidade de força mecânica necessária para produzir uma certa quantidade de calor” (tradução nossa). Quanto ao experimento em si (Figura 1), Joule (1850) o descreveu da seguinte forma:

O método de experimentação foi como se segue:—a temperatura do aparelho foi verificada e os pesos enrolados com o auxílio do suporte, sendo a roldana fixada no eixo. A altura exata dos pesos acima do solo foi então determinada por meio de tiras graduadas de madeira, e a roldana foi liberada, permitindo que rotacionasse até que os pesos atingissem o piso de laje do laboratório, após realizar uma queda de cerca de 63 polegadas. A roldana foi removida, os pesos enrolados novamente, e o procedimento recommençado. Depois de repetido vinte vezes, o experimento foi concluído com outra observação da temperatura do aparelho. A temperatura aproximada foi determinada por observações a cada começo, meio e fim das experimentações. (Joule, 1850, p. 8, tradução nossa).

É relevante também o fato de que Joule destaca o fato de que em todas as repetições, do método de observação dos termômetros e posição do aparelho à quantidade de água, nada no experimento foi modificado.

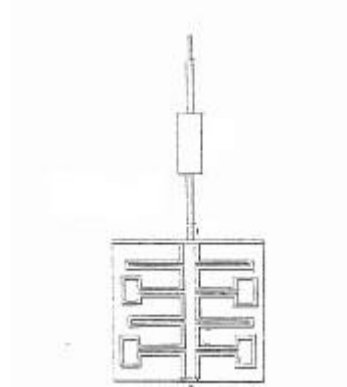
Figura 1 – Experimento do equivalente mecânico do calor



Fonte: Adaptado de Joule (1850)

Dentro do experimento (Figura 2), uma estrutura de hélices era responsável pela ação mecânica sobre a água, causando, através dos movimentos repetidos de queda dos pesos, o aquecimento da água, que seria registrado pelos termômetros.

Figura 2 – O interior do experimento de Joule



Fonte: Adaptado de Joule (1850)

Em 1884, após repetir treze vezes o experimento, o resultado médio encontrado por Joule foi de aproximadamente 4,5 J/cal, um pouco maior que o valor atualmente aceito de 4,19 J/cal (LINO, 2016).

Os resultados desses experimentos, bem como outros realizados posteriormente, eram provas plausíveis de que o calor não se tratava de uma substância, não podendo ser explicados caso essa fosse sua natureza (JOULE, 1850).

A reprodução realizada para o projeto (Figura 2), tentando seguir o modelo descrito por Joule, ocorreu no laboratório de Física do IFSP – Câmpus Caraguatatuba, contando com materiais de baixo custo. Foram utilizados uma barra metálica e um cano de PVC para a roldana, suportes para os pesos que se consistiam em blocos de madeira, fio de nylon, e um copo de isopor como isolante térmico. Dentro desse copo, por sua vez, as hélices utilizadas eram de plástico, tendo pertencido previamente a um ventilador cooler de computador, e presas à barra de ferro por meio de cola durepoxi.

Figura 2 – Resultado final do experimento

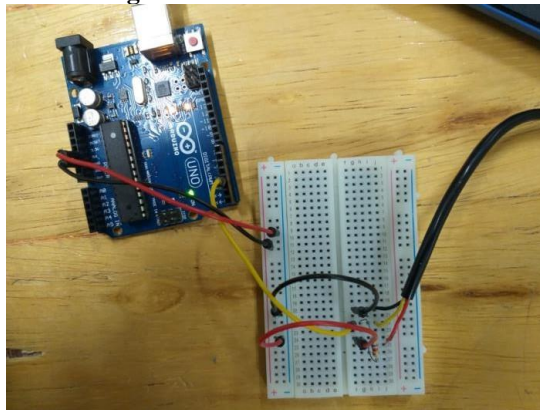
Fonte: elaborado pelo autor

Para medir a variação de temperatura, por sua vez, foi utilizado um termômetro de Arduino (Figura 3) modelo DS18B20, cuja programação foi retirada da internet¹, uma vez que sua sensibilidade à variação da temperatura é maior que a dos termômetros convencionais. Com a utilização do sensor de temperatura, conseguimos detectar a variação desta na água quando o experimento era realizado.

Devemos ressaltar que o objetivo da reprodução foi a demonstração das transformações de energia que ocorrem e o aumento da temperatura da água detectado pelo sensor, e não o cálculo preciso do equivalente mecânico do calor, como o trabalho realizado por Joule. O experimento teve um caráter qualitativo e demonstrativo em sua utilização na sequência didática.

¹ Programação disponível no site: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-temperatura-ds18b20/>>. Acesso em 11 de janeiro de 2021

Figura 3 – Arduíno utilizado



Fonte: elaborado pelo autor

Como embasamento teórico para a elaboração da sequência didática, foram utilizadas a aprendizagem significativa de Ausubel, considerando os conhecimentos prévios dos alunos, e a aprendizagem significativa subversiva de Moreira (2013a).

O termo sequência didática foi introduzido nos anos 2000, denotando a ligação estreita entre os conhecimentos epistemológico e pedagógico, tendo como uma característica a elaboração de uma sequência orientada nas dificuldades de ensino e aprendizagem relatadas na literatura, confrontado com a realidade local da sala de aula (CAVALCANTI; RIBEIRO; BARRO, 2018, p. 861).

Nossa sequência foi elaborada de acordo com os autores Cavalcanti, Ribeiro e Barro (2018), quando buscamos os problemas de ensino-aprendizagem através da análise dos resultados da etapa de pré-teste.

Os elementos de História da Ciência foram inseridos na sequência didática com a pretensão de nortear o material para que este se tornasse potencialmente significativo, no sentido ausubeliano, criando relações entre o senso comum dos alunos e o conhecimento a ser assimilado. Levamos em consideração ainda que

A abordagem histórica dos conteúdos científicos não é mero diletantismo. Talvez seja um dos caminhos eficazes para a desmistificação da ciência enquanto assunto vedado aos não iniciados, para a ruptura com uma metodologia própria ao senso comum e às concepções espontâneas e, para, finalmente, estabelecer uma ponte para as primeiras modificações conceituais. O conhecimento científico torna-se passível de reconstrução e a aprendizagem aproxima-se do que realmente deve ser: uma incansável perscrutação (CASTRO; CARVALHO, 1992, p. 236).

Diante dessa perspectiva, apresentamos a sequência didática na Tabela 1.

Tabela 1 – Sequência didática finalizada

Primeira etapa (pré-teste)	
Objetivos específicos	Metodologia
<ul style="list-style-type: none"> - Compreender o que é e para que serve um mapa conceitual; - Analisar o conhecimento prévio dos alunos quanto à Termodinâmica, relativo aos conceitos de calor, energia térmica e conversões/conservação de energia, e ainda, seus conhecimentos quanto à perspectiva histórica da época em que os conceitos foram elaborados (ex.: Revolução Industrial); 	<p>Questionar os alunos quanto ao mapa conceitual para verificar conhecimentos prévios em relação a estes;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Apresentar exemplos de mapas conceituais; - Falar sobre a teoria dos mapas; <p>Apresentar novamente exemplos de mapas, permitindo aos alunos que comentem suas percepções sobre estes (o esperado é que notem que há uma organização lógica);</p> <p>Explicar o mapa, caso os alunos não se mostrem participativos;</p> <p>Mostrar outros exemplos de mapas, destacando as diferenças entre eles para que haja a compreensão de que não há um modelo fixo de mapa;</p> <p>Pedir aos alunos que montem seus próprios mapas, apenas direcionando o tema (Revolução Industrial e Física);</p>
Segunda etapa (pós-teste)	
Objetivos específicos	Metodologia
<ul style="list-style-type: none"> - Compreender a ciência como uma construção humana; - Contextualizar a Termodinâmica e sua importância para as Revoluções Industriais; - Entender da importância dos diferentes trabalhos sobre o tema para a ciência; - Analisar o conhecimento adquirido pelos alunos através dos novos mapas conceituais; 	<p>Fazer uma recapitulação da história da Termodinâmica, os primeiros pesquisadores cujos nomes são ligados ao desenvolvimento dos conceitos, associando o contexto a fotos/anos (permitir que os alunos falem, se lembrarem/souberem);</p> <p>Falar do desenvolvimento da primeira máquina a vapor no contexto da Revolução Industrial;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Discutir a primeira Revolução industrial; <p>Falar sobre os conceitos que possibilitaram o desenvolvimento da enunciação da conservação da energia a partir do experimento de Joule;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Apresentar outros nomes associados à conceitos da Termodinâmica, como Heron de Alexandria, Denis Papin, Julius von Mayer, Thomas Savery, Sadi Carnot, James Watt, Thomas Newcomen, Clapeyron, e discuti-los; - Apresentar Joule e suas pesquisas posteriores; <p>Mostrar o experimento, pedir para que os alunos expressem suas ideias sobre ele;</p> <p>Falar sobre o equivalente mecânico do calor, a pesquisa de Joule relacionada a isso, mostrar os dados experimentais e o experimento;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pedir para que os alunos, novamente, façam mapas conceituais, apenas direcionando o tema (Revolução Industrial e Física);

Fonte: elaborado pelo autor

Os mapas conceituais, pedidos ao final de cada etapa da sequência, foram utilizados como instrumentos avaliativos da efetividade da atividade realizada. Quanto à essa escolha,

segundo Moreira (2013b, p. 4),

(...) o uso de mapas conceituais como instrumentos de avaliação implica uma postura que para muitos difere da usual. Na avaliação através de mapas conceituais, a ideia principal é a de verificar o que o aluno sabe em termos conceituais, i.e., como ele estrutura, hierarquiza, diferencia, relaciona, discrimina, integra, conceitos de uma determinada unidade de estudo, tópico, disciplina, etc.

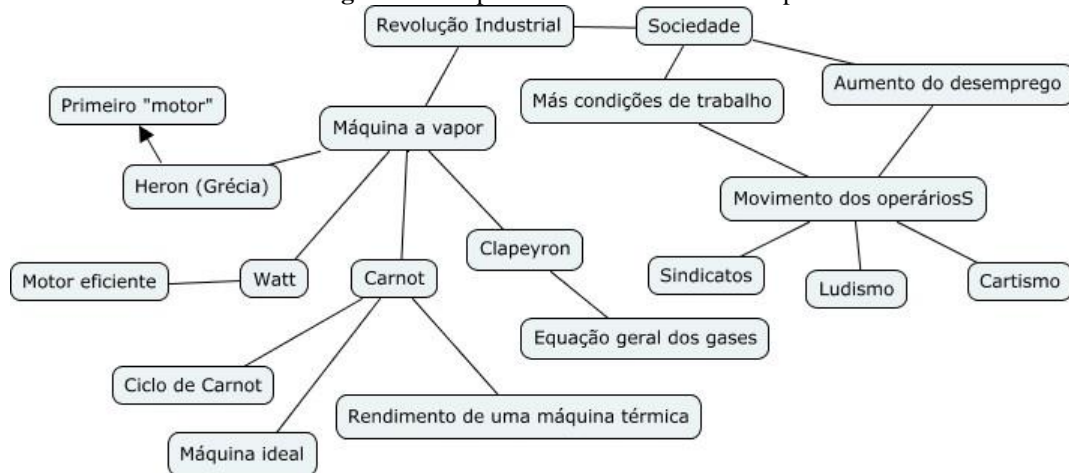
Assim, analisando individualmente cada um dos mapas, foi possível verificar se a abordagem utilizada em sala de aula contribuiu de alguma forma para a modificação e/ou obliteração dos subsunçores dos alunos.

Cada uma das etapas da sequência didática previa duas aulas de cinquenta minutos, totalizando três horas e vinte minutos. Participaram da pesquisa os alunos do 2º ano do Ensino Médio Integrado do IFSP – Câmpus Caraguatatuba, tendo sido as aulas cedidas pelo professor da disciplina de História. A segunda etapa da sequência foi dividida em duas aulas separadas que ocorreram na mesma semana, uma delas direcionada para a apresentação do experimento em laboratório, onde os alunos puderam interagir com o material, enquanto a outra foi direcionada apenas para a construção dos mapas conceituais.

4 Resultados e Discussão

Na primeira etapa da sequência didática, foram obtidos um total de 28 mapas conceituais, e na segunda, 17 mapas, dos quais apenas 12 puderam ser analisados. A não avaliação de 5 desses 17 mapas se deu pelo fato de que estes foram feitos em grupo pelos alunos participantes, o que invalida sua análise no contexto de verificar o impacto da abordagem de forma individual. Dos 12 mapas conceituais que puderam ser analisados, 7 deles apresentaram resultados satisfatórios, tendo como exemplo as transformações que podem ser vistas nos mapas do aluno A (Figura 4 e Figura 5).

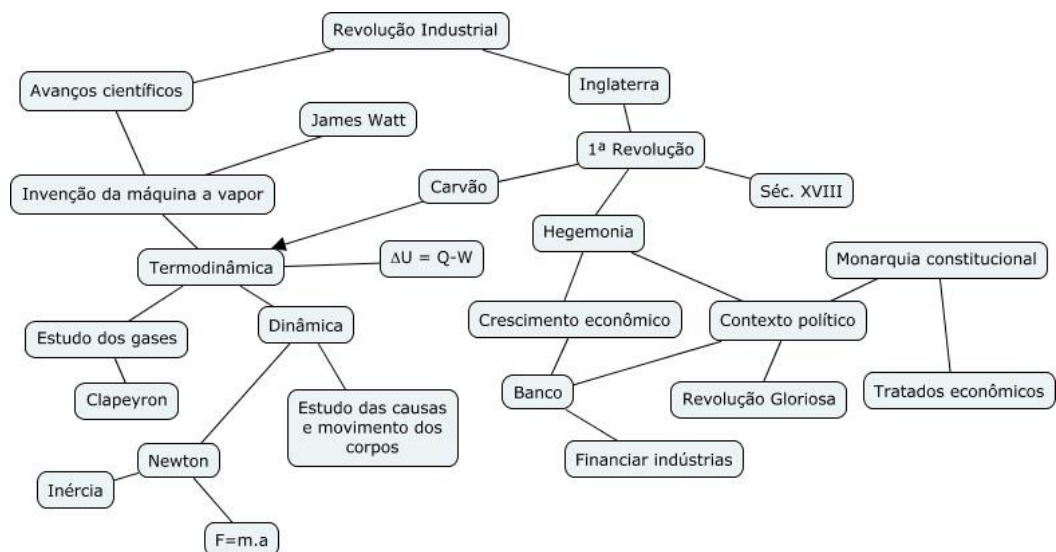
Figura 4 – Mapa conceitual do aluno A no pré-teste



Fonte: apresentado pelo autor com o programa Map Tools, a partir do mapa entregue pelo aluno

Antes da aplicação da atividade em laboratório, fica claro que o aluno em questão possui conhecimentos prévios relacionados essencialmente ao contexto histórico das Revoluções Industriais, sem necessariamente saber apontar a ligação entre estes e o desenvolvimento da Termodinâmica, além das figuras de cientistas e pesquisadores famosos, como Watt, Carnot e Clapeyron. Seu mapa conceitual após a aplicação da atividade (Figura 5) apresenta uma mudança significativa no número de conexões entre os subsumores.

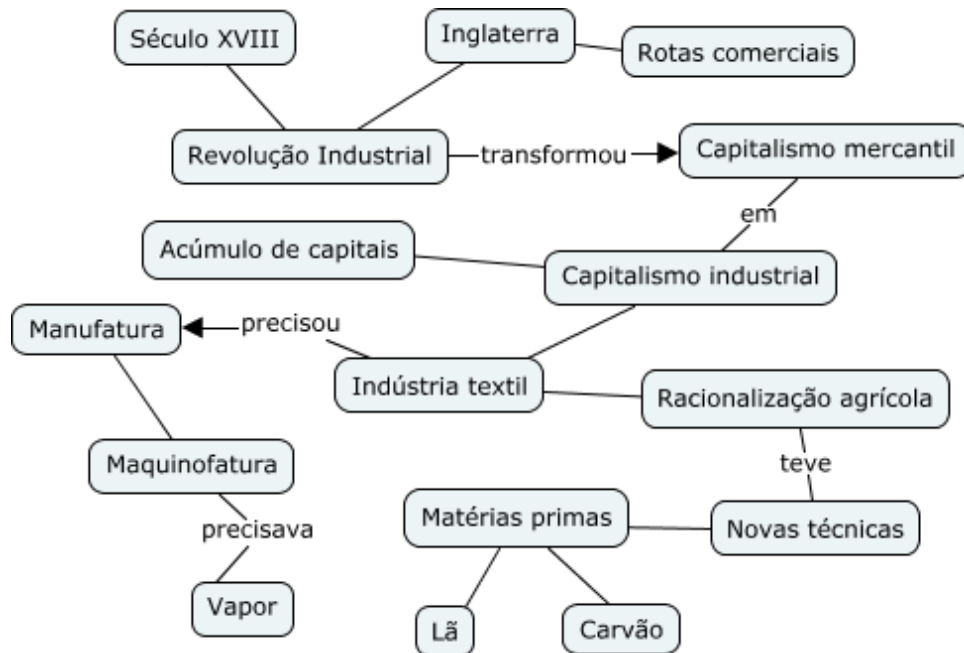
Figura 5 – Mapa conceitual do aluno A no pós-teste



Fonte: apresentado pelo autor com o programa Map Tools, a partir do mapa entregue pelo aluno

Houve também a inserção dos elementos históricos que haviam sido discutidos em aula, algo que, ainda que a ligação entre os subsubcones não tenha sido explicada, evidencia a assimilação das ideias por parte do aluno. Resultados semelhantes puderam ser observados em outros mapas, como o mapa inicial do aluno B (Figura 6).

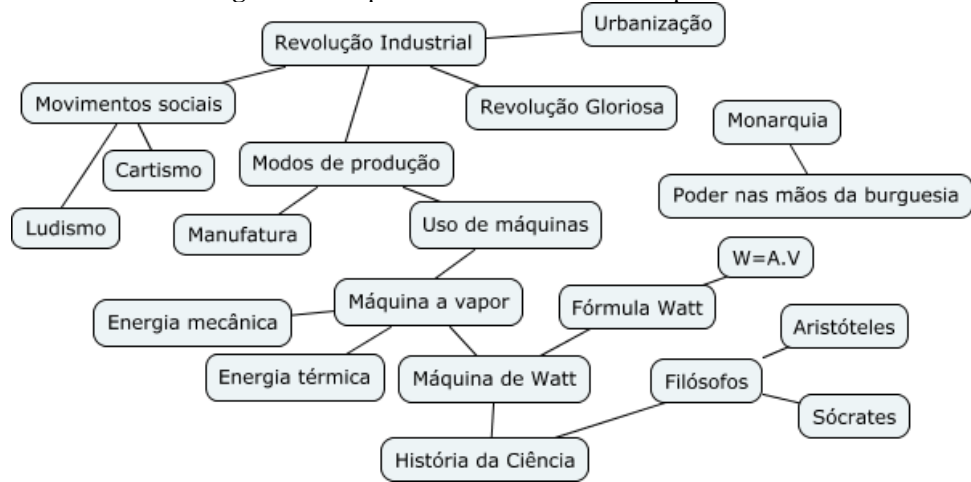
Figura 6 – Mapa conceitual do aluno B no pré-teste



Fonte: apresentado pelo autor com o programa Map Tools, a partir do mapa entregue pelo aluno

Diferentemente do aluno A, o aluno B aplicou legendas às conexões, ainda que as tenha abandonado após a aplicação da segunda etapa da sequência didática (Figura 7). No pré-teste, é possível constatar que, da mesma forma que o aluno A, o aluno B possui conhecimentos sobre o contexto histórico da Revolução Industrial, mas não necessariamente sua conexão com a Física.

Figura 7 – Mapa conceitual do aluno B no pós-teste



Fonte: apresentado pelo autor com o programa Map Tools, a partir do mapa entregue pelo aluno

Assim como o mapa conceitual do aluno A, o aumento das conexões entre os conceitos previamente estabelecidos, bem como a adição de novos, é visível. Ambos os mapas, entretanto, evidenciam que a segunda etapa da sequência didática deu maior enfoque ao contexto histórico e ao desenvolvimento dos conceitos do que necessariamente ao fenômeno físico envolvido no experimento (a conservação de energia) e a matematização dele. A compreensão desses conceitos físicos, entretanto, ainda pode ser verificada a partir da inserção de equações em ambos os mapas (Figura 4 e Figura 6) no pós-teste, o que também ocorreu nos outros 5 mapas de resultados satisfatórios. O mesmo não pôde ser observado no restante dos mapas analisados, que majoritariamente apresentaram poucos conceitos e poucas conexões, especialmente quando comparados com os mapas produzidos no pré-teste pelos mesmos alunos. Esse resultado é um contraste direto com a diferença comportamental observada pelo pesquisador na turma quando esta foi inserida no ambiente de laboratório; os alunos não apenas contribuíram com a aula, respondendo questionamentos e fazendo perguntas pertinentes ao assunto, como também demonstraram grande interesse em testar o experimento e entender seu funcionamento.

5 Conclusão

A partir dos objetivos que foram estabelecidos, a pesquisa se mostrou satisfatória por apontar, em primeiro lugar, que a contextualização histórico-filosófica, em conjunto com o aparato experimental, pode ser usada como um fator de incentivação ao interesse e participação dos alunos. A diferença comportamental dos alunos ao serem inseridos no novo ambiente de aprendizado (o laboratório), evidenciada pela participação durante a aplicação da segunda etapa da sequência didática, é indício disso. Da mesma forma, a incorporação não apenas dos elementos históricos, como também de equações físico-matemáticas nos resultados de pós-teste, indicam que, ainda que a aula tenha dado maior enfoque histórico que conceitual, a compreensão dos fenômenos físicos a partir da experimentação contextualizada pode ocorrer.

Por outro lado, os resultados da análise de dados apontam uma falha que não foi prevista durante a elaboração e realização do trabalho: ainda que os resultados tenham sido positivos, a utilização dos mapas conceituais como método avaliativo da atividade pode não ter sido uma escolha adequada ao contexto. Sua produção, mesmo que cada mapa seja

extremamente pessoal e particular a quem o fez, exige hábito e prática, e isso causou uma discrepância entre os resultados de alunos que já tinham conhecimento prévio dos mapas, e alunos que não, o que pode ter acarretado nos mapas que não puderam ser avaliados. Essa falha poderia ter sido evitada se o método avaliativo fosse um com o qual os alunos estivessem mais acostumados, como o formato de questionário, ainda que a utilização de perguntas específicas pudesse ter limitado, até certo ponto, a criatividade das respostas; além disso, o período de aulas previsto na sequência didática também deve ser reconsiderado, para que a análise pré e pós-teste possa ser realizada de forma mais eficiente.

REFERÊNCIAS

- CASTRO, Ruth Schmitz de; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. História da Ciência: investigando como usá-la num curso de segundo grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 225-237, 1992.
- CAVALCANTI, Marcello Henrique da Silva; RIBEIRO, Matheus Marques; BARRO, Mario Roberto. Planejamento de uma sequência didática sobre energia elétrica na perspectiva CTS. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 24, n. 4, p. 859-874, 2018.
- DAMASIO, Felipe; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. **História e filosofia da ciência na educação científica: para quê?** Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), [s.l.], v. 19, p. 1-19, 2017.
- JOULE, James Prescott. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. Royal Society, v. 140, p. 61-82, 1850.
- KONDEPUDI, Dilip; PRIGOGINE, Ilya. **Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures**. New Jersey: Wiley, 2015.
- LEÃO, Geraldo. O que os jovens podem esperar da Reforma do Ensino Médio? **Educação em Revista**. Belo Horizonte, n. 134, 2018.
- LINO, Alex. O desenvolvimento histórico do conceito de energia: seus obstáculos epistemológicos e suas influências para o Ensino de Física. Tese (Doutorado). Maringá: **Curso de pós-graduação em Educação para o ensino de Ciências e a Matemática, Universidade Estadual de Maringá**, 2016.
- MARTINS, André Ferrer P. O Papel da História da Ciência como contextualizador do ensino de Física: História (e Filosofia!) da Ciência no ensino da Física: o quanto avançamos? *In*: GARCIA, Nilson M.D.; AUTH, Milton A.; TAKAHASHI, Eduardo K. (ed.). **Enfrentamentos do ensino de Física na sociedade contemporânea**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016, p. 419-427.
- MATTHEWS, Michael S. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.
- MOREIRA, Marco A; MASINI, Elcie F. S. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Editora Moraes, 1982.
- MOREIRA, Marco A. A aprendizagem significativa subversiva. **Série-Estudos-Periódicos do Programa de Pós-Graduação em Educação da UCDB**, N. 21, 2013a.
- MOREIRA, Marco A. O mapa conceitual como instrumento de avaliação da aprendizagem. **Educação e Seleção**, n. 10, p. 17-34, 2013b.
- SILVA, Cibelle Celestino. **Estudos de História e Filosofia das Ciências**: subsídios para a aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- SOUZA, Nadia Aparecida de et al. Mapas conceituais: estratégia de ensino/aprendizagem e ferramenta avaliativa. **Educação em Revista**, 2010.
- TAKIMOTO, Elika. **História da Física na sala de aula**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.