



Do Calórico à teoria atual do calor: uma abordagem HFC no ensino remoto

Renato Nunes Ramalho^{1,2} & Heydson Henrique Brito da Silva³ 

- (1) Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Unidade Acadêmica de Física, Programa de Pós-Graduação em Física, Avenida Aprígio Veloso 882, Bodocongó 58109-970, Campina Grande, Paraíba, Brasil. E-mail: renatoramalho2610@gmail.com
- (2) Escola Cidadã Integral de Ensino Fundamental e Médio Professor Crispim Coelho, Rua Romualdo Rolim 160-198, Centro 58900-000, Cajazeiras, Paraíba, Brasil.
- (3) Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Núcleo de Formação Docente, Avenida Campina Grande, Nova Caruaru 55014-900, Caruaru, Pernambuco, Brasil. E-mail: heydson.henrique@ufpe.br

Ramalho R.N. & Silva H.H.B. (2022) Do Calórico à teoria atual do calor: uma abordagem HFC no ensino remoto. *Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza*, 6: e1944.
<http://dx.doi.org/10.29215/pecen.v6i0.1944>

Editora acadêmica: Thatyara Freire de Souza. **Recebido:** 07 julho 2022. **Aceito:** 11 agosto 2022. **Publicado:** 23 agosto 2022.

Resumo: Propomos aqui a elaboração de material didático sobre o conceito de calor para a aplicação na educação básica, levando em consideração a construção desse conhecimento ao longo da história humana. Utilizamos uma abordagem baseada na História e Filosofia da Ciência (HFC) realizando uma interligação do conteúdo de calor com alguns episódios históricos, tais como os conceitos de Flogístico e Calórico, a determinação do equivalente mecânico do calor, a atribuição do “Joule” como unidade para energia e a importância de Rumford na evolução da teoria do calor, desenvolvendo assim uma prática de ensino que não seja isolada e descontextualizada. Também reproduzimos o famoso experimento de Joule, detalhando sua construção ao utilizar materiais simples e de fácil obtenção. Este recurso didático foi aplicado a uma turma de segundo ano do ensino médio de uma escola pública, e aqui detalharemos as etapas dessa aplicação. Uma pesquisa foi aplicada e intervenções realizadas, onde foram analisadas qualitativamente as superações e desenvolvimento dos conceitos térmicos na potencialidade da aprendizagem significativa e de uma formação integral. Como resultado tivemos um excelente aproveitamento da turma, pois observou-se as transformações nas ideias errôneas dos estudantes à medida que o conceito de calor foi empregado gradativamente ao longo das intervenções.

Palavras chave: História e filosofia da ciência, recurso didático, calor, ensino de Física.

From Caloric to the current theory of heat: an HFC approach in remote teaching

Abstract: We propose the elaboration of didactic material on the concept of heat for application in high school, taking into account the construction of this knowledge throughout human history. We use an approach based on the History and Philosophy of Science (HFC) making an interconnection of the heat content with some historical episodes, such as the concepts of Phlogiston and Caloric, the determination of the mechanical equivalent of heat, the attribution of the “Joule” as a unit for energy and the importance of Rumford in the evolution of the theory of heat, thus developing a teaching practice that is not isolated and decontextualized. We also reproduced the famous Joule experiment, detailing its construction using simple and easily obtainable materials. This didactic resource was applied to a second-year high school class of a public school, and here we will detail the steps of this application. A survey was applied and interventions carried out, where the overcoming and development of thermal concepts in the potential of meaningful learning and integral formation were qualitatively analyzed. As a result, we had an excellent use of the class, as it was observed the transformations in the erroneous ideas of the students as the concept of heat was gradually used throughout the interventions.

Key words: History and philosophy of science, didactic resource, heat, physics teaching.

Introdução

Em geral, o Ensino de Física continua com um caráter mecânico e o que se tem feito em mudanças e abordagens não são suficientes para mudar significativamente o cenário educacional (Moreira 2021). O ensino mecânico é aquele em que o professor só se preocupa em repassar o conteúdo do livro didático, e o aluno só se preocupa em decorar o que necessita para ser aprovado nas avaliações. Não, assim, há uma preocupação em dar significado ao que ensina e ao que aprende.

Portanto, faz-se necessário a implementação contínua de práticas ativas e teorias de aprendizagens, adentrando o currículo de estudantes, os quais transitam sobre conteúdos clássicos da física e concluem sua formação sem compreender fenômenos cotidianos e ferramentas atuais a sua volta, que vão desde fenômenos mecânicos a fenômenos térmicos, elétricos e ondulatórios, como por exemplo a leitura de uma conta de luz, a ação da pressão no cozimento de alimentos, a razão de não colocar objetos metálicos dentro de micro-ondas e o motivo das coisas caírem em direção ao solo. São compreensões observacionais que devem estar ligadas às competências para o século XXI e devem ser trabalhadas no ensino da física

A abordagem de História e Filosofia da Ciência (HFC) para o ensino da Física surgiu após a escolha em tratar de um ensino por competências, consequência da necessidade de inserir alternativas de ensinar ciências a fim de tornar agradável e significativo o seu entendimento. Como é expresso em Matthews (1995: 168) no relatório Ciências para todos os americanos “alguns episódios na história das buscas científicas são bastante significativos para a nossa herança cultural; por exemplo, o papel de Galileu na mudança de percepção de nossa posição no universo”. Assim como a ciência, o ensino da Física é formado de observações, insatisfações e construções - uma teoria científica não surge em instantes.

A abordagem HFC nos remete a natureza da ciência em uma perspectiva ampla e enriquecedora para o ensino de física, mostrando os processos envolvidos na criação científica e de evidências que sustentam uma teoria. Segundo Martins *et al.* (2014: 18) “Os usos da história da ciência para melhorar a aprendizagem de ideias científicas, para aumentar a motivação dos alunos, o seu valor cultural intrínseco, e outros usos que foram propostos na década de 1970 e 1980, são hoje em dia raramente mencionados.”

A Lei da Gravitação Universal, por exemplo, não foi feita graças a lenda de uma maçã vermelha que caiu na cabeça de um renomado cientista, como popularmente se pensa. Uma aula pode ficar enriquecida com a apropriação do contexto histórico que esteve presente em todo desenvolvimento do pensamento científico, pois carrega em si meios que problematizam o saber científico, o que nos remete a quebra de paradigmas que se voltam às descobertas científicas.

Por outro lado, estamos vivendo desde o ano de 2020 em um período de pandemia global devido à COVID-19. Todos os setores da sociedade foram afetados, inclusive o setor educacional. No Brasil, as escolas do ensino básico tiveram que se adaptar a oferecer o que se chama de ensino remoto. Nesta modalidade, os professores vêm transmitindo suas aulas através de diversas plataformas virtuais, de maneira síncrona e assíncrona. Os alunos, por sua vez, acompanham esses materiais através de dispositivos eletrônicos em suas casas. Este fato naturalmente exigiu uma adaptação ao professor, de maneira que o mesmo repensasse sua prática docente, buscando metodologias alternativas, a fim de não comprometer o processo de ensino-aprendizagem, bem como os cumprimentos legais do currículo.

Iremos, neste trabalho, utilizar a HFC para uma interligação da natureza do calor com alguns episódios históricos de relevância na construção desse pensamento humano, com a intenção de desenvolver um ensino de física que não seja isolado e descontextualizado. Para isto, desenvolvemos um material didático que foi adaptado ao ensino remoto.

Mais especificamente, foi desempenhado um ensino de abordagem norteada por competências na Escola Cidadã Integral Estadual de Ensino Fundamental e Médio Professor

Crispim Coelho (Cajazeiras-PB), uma instituição pública de tempo integral que atende a zona humil da cidade, oferecendo a comunidade local uma formação interdimensional ao que toca os três eixos formativos expressos em seu modelo pedagógico: formação para a vida, formação acadêmica de excelência e formação das competências para o século XXI.

Iremos agora mostrar como este trabalho está organizado. No capítulo seguinte discutimos como a HFC está inserida no ensino de Física, desde os documentos oficiais até as opiniões dos autores quanto à sua melhor aplicação metodológica no ensino. No capítulo subsequente fazemos uma breve revisão histórica da evolução do conceito de calor, desde o conceito de flogístico, passando pelo conceito do calórico, e chegando no conceito moderno. Na metodologia detalhamos como nosso trabalho foi desenvolvido, e nos dois capítulos seguintes, detalhamos os resultados do pré-teste aplicado, bem como no desenvolvimento do material didático. Por fim, nas considerações finais trazemos as conclusões e perspectivas do trabalho.

HFC e o ensino da Física

Conhecer a natureza do calor, por exemplo, faz parte do conhecer o mundo em que vivemos. Ao refletir sobre a construção do conceito de calor o/a estudante irá (supostamente) entender como era o mundo, sua economia, cultura, ciência, relacionar-se com as ideias atuais e o contexto em que vivemos, incentivando então uma cultura científica no mesmo.

O estudo histórico e filosófico da ciência se faz necessário para o desenvolvimento de uma cultura científica no ensino atual, tanto da educação básica como superior. Entretanto, deve-se ressaltar que esta metodologia é uma complementação ao ensino científico que propicia um aprendizado significativo de equações e problemas. Este tipo de abordagem desmistifica o método científico, que é passado para os alunos como uma veracidade indubitável, criada instantaneamente por heróis da ciência e de fatos atemporais.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio – PCN (Brasil 2000) já recomendavam o uso da história da ciência no ensino das ciências exatas e da natureza. Especificamente, as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio – PCN+ trazem, para a física, uma competência geral para o educando “Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social” (Brasil 2002: 32).

A recente Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o ensino médio também traz a necessidade de uma abordagem histórica nas ciências naturais, quando afirma “[...] bem como inteirar-se da evolução histórica dos conceitos e das diferentes interpretações e controvérsias envolvidas nessa construção” (Brasil 2018: 542). Além disso, existe uma habilidade específica na BNCC que objetiva ao estudante “Analisar e utilizar modelos científicos, propostos em diferentes épocas e culturas para avaliar distintas explicações [...]” (Brasil 2018: 543).

Contudo, é preciso ter bastante cuidado quando tratar de história da ciência para não cometer erros comuns na história, como omissão de fatos, erros de interpretações e julgamentos de quem lê e até por quem escreve os textos. Matthews (1995: 176) ressalta que “o problema é, obviamente, mais profundo do que simplesmente uma questão de a percepção ser afetada pela interpretação”. A história da ciência é produzida a partir de estudos de textos, documentos, notas, evidências e o raciocínio de análise, que de certo modo, o estilo, a linguagem, uma tradução, a época do autor, peculiaridades e crenças advindas de quem se debruça a HFC influenciam na interpretação dos fatos, assim como o estudo de qualquer outra pesquisa histórica.

Também devemos ter cautela com as metodologias a serem usadas ao inserir a HFC no ensino da física. Conforme traz Forato (2009: 48).

Isto significa que a transposição da história e filosofia da ciência para o ambiente escolar requer lidar com diversos desafios, por exemplo: a seleção dos conteúdos do Saber Sábido a serem transformados em Saber a Ensinar que atendam aos objetivos pedagógicos elencados; harmonizar a necessidade de descontextualização, dessincretização, despessoalização dos saberes acadêmicos com cuidados para evitar a construção da pseudo-história; conciliar o nível de abstração requerido para se lidar com a complexidade da dimensão histórico

-epistemológica e respeitar a necessidade da publicidade do Saber a Ensinar (Forato 2009: 48).

De acordo com Martins (2006: 114) “a HFC pode ser pensada tanto como conteúdo (em si) das disciplinas científicas, quanto como estratégia didática facilitadora na compreensão de conceitos, modelos e teorias”. Entretanto, muitos professores imaginam a HFC como um conteúdo a mais e que não cabe no currículo exigido pelas instituições, por demandarem enorme tempo e planejamento e não a entendem como uma metodologia que complementa integralmente o currículo do ensino de Física. O foco deste trabalho é colocar integralmente a HFC apoiada em competências e não só na introdução de um conteúdo como forma de apresentação do que o aluno irá estudar, prática comum e ingênua na educação básica.

A ideia de que professores de ciências devam ensinar não só ciências, mas também sobre ciências (isto é, a inclusão de um nível metacientífico), lançou um novo uso para a história e a filosofia da ciência no ensino de física (Martins *et al.* 2014). Assim, a HFC tem a importância de contribuir para um bom entendimento das relações da ciência com a tecnologia, a cultura e a sociedade. Isto proporciona ao professor novos métodos de ensinar a física, como o desenvolvimento de experimentos históricos, episódios ocorridos na ciência, utilização de espaços como museus, peças produzidas através de episódios e quadrinhos, ou seja, meios que problematizam para o estudante o saber científico. Todas essas variações possuem “n” modos de serem aplicadas e podem tornar as aulas mais atrativas, desafiadoras e reflexivas, permitindo uma aprendizagem significativa, crítica e promovendo o protagonismo dos estudantes.

Para a obtenção desta aprendizagem significativa, segundo a teoria de Ausubel (Moreira & Masini 2006), é preciso que os novos conhecimentos se relacionem de modo adequado com os conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva do indivíduo, os chamados subsunçores. O subsunçor pode ter uma influência positiva como também de inibição, dificultando a compreensão do indivíduo para determinados assuntos, como por exemplo, quando entramos no mundo atômico da termodinâmica, seus modelos representados em livros podem causar um problema nas concepções que se deseja formar.

O conceito de calor, por exemplo, passa a tornar-se um subsunçor que posteriormente poderá ramificar a concepção do aluno sobre conservação da energia mecânica e da energia térmica quando o assunto for evoluindo no decorrer de seus estudos. Isto permitirá se estabelecer um conhecimento na estrutura cognitiva do indivíduo (pode-se dar ainda mais significação sobre essa interação para o aluno quando se referir a equivalência mecânica do calor) permitindo-lhe dar sentido a outros conhecimentos prévios dessa linha de pensamento formado, o que configura “um conjunto hierárquico de subsunçores dinamicamente interrelacionados” (Moreira & Masini 2006: 5).

Uma breve abordagem histórica sobre o conceito de calor

A ideia de calor nem sempre foi a mesma. Ela advém de uma discussão recheada de episódios que marcaram o desenvolvimento da sociedade e a concepção de mundo desde a Grécia Antiga. Diferentes teorias antecederam o conceito que se tem hoje e diferentes ideias conviveram durante o mesmo período desde a antiguidade, como as ideias substancialistas de Empédocles, as ideias elementares de Aristóteles e a ideia dos atomistas na Grécia Antiga; o flogístico e o calórico no século XVIII e o calórico e a teoria dinâmica, fortemente empregadas na termodinâmica do século XIX. Houve, portanto, um longo processo que resultou na compreensão atual do calor.

Na antiguidade o calor esteve associado diretamente a um dos quatro elementos fundamentais da natureza, o fogo. Essa concepção grega estava ligada a explicação do universo de acordo com as ideias da época, principalmente com as de Empédocles (Silva *et al.* 2013). Posteriormente Aristóteles, a partir dos quatro elementos e da quintessência, buscava explicações para fenômenos da natureza, e além dessa concepção, haviam os atomistas. Segundo eles “o calor seria produzido por átomos esféricos que se movimentariam livremente no espaço vazio entre os demais átomos” (Silva *et al.* 2013: 497).

Na alquimia também haviam interpretações para fenômenos relacionados ao calor, com destaque para o *alcahest*¹ e a *terra pinguis*², mas de acordo com Silva *et al.* (2013) não havia um consenso entre os estudiosos sobre um conjunto de elementos “exatos” para a associação de fenômenos do tipo. Não aprofundaremos a respeito sobre as compreensões alquimistas, mas ressaltamos a importância da compreensão do fenômeno abordado em cada contexto histórico para o desenvolvimento deste trabalho e de não correr o risco de negligenciar a história da ciência.

¹Substância associada ao elemento fogo, originalmente estabelecida por Paracelsus (1493-1541), reinterpretada por seus seguidores como Van Helmont (1579-1644) como um licor que lograsse dissolver toda substância existente e era compreendida como um elemento natural (Passos 2009).

²Terra inflamável, existente em materiais combustíveis (Passos 2009).

Durante o século XVIII surgiram duas ideias para a natureza do calor, uma delas era o flogístico, uma essência presente em materiais inflamáveis. Quanto mais inflamável fosse o material, mais flogístico ele possuía. Para o alemão George Ernest Stahl (1659–1734), havia a seguinte compreensão:

O flogístico é um elemento eterno na natureza, que passa de um ente para o outro, em qualquer um dos reinos, num ciclo eterno e também por meio de reações químicas. Isto respondia questões como a impossibilidade de ocorrer combustão de materiais no vácuo, onde não haveria ar para a transformação do flogístico (Silva *et al.* 2013: 505).

Um importante ponto de discussão dessa teoria deu-se pelo questionamento em relação aos elementos naturais aristotélicos. A concepção de que tais elementos poderiam ser compostos de outros e não mais princípios elementares, levaram filósofos do século XVIII a novos entendimentos da natureza. Entre eles estava o inglês Henri Cavendish, o qual realizou experimentos que constatavam a presença de gotículas de água ao realizar combustão entre diferentes tipos de ar e que tinham suas massas alteradas (Silva *et al.* 2013). O episódio levou-o a questionamentos sobre a composição da água e conseqüentemente a do ar; estes temas também foram questionados posteriormente por outros filósofos, tais como Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) em seus experimentos de calcinação e combustão.

Lavoisier também realizou experimentos abordando as características dos seres vivos, registrados em seu trabalho junto a Pierre Simon - Marquês de Laplace (1749-1827) - no século XVIII, com o “estudo sobre a fisiologia da respiração em um tratado sobre o calor” (*Mémoire sur la Chaleur*) (Passos 2009). A partir desses estudos e de forte crítica ao flogístico, o filósofo francês significou o calórico, um elemento presente no ar (fluido) composto com propriedades inflamáveis (propriedades atribuídas pelos historiadores da ciência que seria o elemento oxigênio), diferente do flogístico, este presente na matéria. Com esse pensamento, ele conseguiu explicar os fenômenos químicos e físicos que a teoria flogística não era capaz.

Além dos conceitos de flogístico e do calórico havia ainda aqueles que julgavam o calor como movimento corpuscular. Entre eles, no fim do século XVIII e início do século XIX, estava Benjamin Thompson - o Conde Rumford (1753-1814) – ex adepto da teoria do calórico. Com sua noção intuitiva e seus vários experimentos, como a perfuração de solos com canhões e armamentos, concluiu que o calor poderia ser gerado incessantemente, ajudando futuramente na contraposição à teoria do calórico que previa uma quantidade finita de calor. Esse processo realizado pelo Conde Rumford que resultava no surgimento do calor sem nenhuma fonte flamejante ocorria devido ao atrito formado entre as brocas de seus aparatos com o solo e do desbastamento ocorrido no metal das armas.

Segundo Passos (2009: 3) “Mesmo após as observações empíricas de Rumford, a teoria do calórico ainda continuou sendo admitida por diversos pesquisadores, como Carnot e Kelvin”, até porque a teoria do calórico também era conveniente com a explicação de diversos fenômenos, entre eles a dilatação térmica, a mudança de fase, a condução por calor, entre outros. De fato, era uma teoria consolidada e que nos leva a conjectura da subsistência de mais de uma teoria no mesmo período por um bom tempo. No entanto, devemos frisar que se desejarmos realizar uma análise histórica minuciosa deste contexto (o que não é nosso objetivo aqui) devemos fazer de

maneira cuidadosa, pois “[...] os séculos XVIII e XIX são muito ricos quanto ao desenvolvimento da termodinâmica e torna-se impossível abarcá-los por completo” (Silva *et al.* 2013: 531).

O médico holandês Julius Robert Mayer (1814-1878) foi um dos cientistas que associou a energia mecânica do corpo humano a energia química dos alimentos. Suas observações com a oxidação sanguínea humana o levaram a essa afirmação, mostrando o que viria a ser o princípio da conservação da energia (e enunciando, portanto, uma primeira versão da primeira lei da termodinâmica em 1841).

Um ano após a contribuição de Mayer, James Prescott Joule (1818-1889) conseguiu demonstrar o famoso equivalente mecânico do calor através de um experimento. O aparato consistia em um recipiente com água termicamente isolado, composto por um sistema de pás que giram devido ao impulso gerado pela queda de massas presas a roldanas. Isso causava o aumento da temperatura no interior do recipiente em consequência do aumento da energia cinética do sistema. Ou seja, Joule ratificou o que propôs Mayer, que a energia não se perde nem se cria, mas se transforma em várias modalidades.

Naturalmente, o trabalho de Joule gerou resistências, pois contrariava o que todos da época acreditavam no calórico, e esse fluido não podia ser destruído nem mesmo criado. Joule estava propondo uma teoria cinética do calor que viria a requer um conceito a mais: se o calor é devido a agitação das moléculas, por que então essa agitação não perdia sua intensidade gradualmente? As ideias de Joule necessitavam que se acreditasse que as colisões entre as moléculas seriam perfeitamente elásticas, mas devemos lembrar que os conceitos de átomos e moléculas ainda não eram completamente aceitos. A teoria de máquinas de calor de Carnot funcionava perfeitamente e era baseada no fato da existência do calórico, e somente depois foi provado por Lorde Kelvin que a matemática de Carnot seria igualmente válida sem se assumir a existência do calórico (Passos 2009).

Metodologia

Apresentamos a elaboração de um material didático para o ensino do conceito de calor utilizando a HFC, ao mesmo tempo que relatamos a aplicação da mesma em uma turma do ensino médio. O trabalho foi desenvolvido na Escola Cidadã Integral de Ensino Fundamental e Médio Professor Crispim Coelho, localizada na cidade de Cajazeiras, sertão da Paraíba, escola onde um dos autores desempenha o papel de professor de Física em turmas do ensino médio. Os participantes desta atividade foram alunos do segundo ano do ensino médio, totalizando cerca de 21 estudantes. A turma de segundo ano foi escolhida devido aos temas das aulas propostos, os quais são inerentes à esta série.

Primeiro foi realizado um pré-teste com os estudantes, composto por questões objetivas, com o objetivo de identificar a noção dos estudantes sobre conceitos térmicos, mais precisamente da natureza do calor. As perguntas foram as seguintes:

1 - Qual a parte da física que estuda a energia térmica?

- a. Eletrodinâmica
- b. Óptica
- c. Termologia
- d. Cinemática

2 - Quando você toca uma superfície fria, é o frio que se desloca da superfície para sua mão, ou a energia que se desloca de sua mão para a superfície fria? Explique.

3 - Na sua opinião o que é o calor?

4 - Faça uma distinção entre temperatura, energia térmica e calor.

5 - Quando você toca uma chapa de alumínio e uma tábua de madeira, ambas à temperatura ambiente, a chapa parece mais “fria” do que a tábua. Como se explica a diferença de sensação?

6 - O que acontece com as moléculas de uma substância, quando é aquecida?

- a. Ficam mais lentas e unidas umas das outras
- b. Ficam mais lentas e afastadas entre si
- c. Ficam mais rápidas e afastadas entre si
- d. Ficam mais rápidas e unidas umas das outras

A segunda etapa se configurou na ministração de três aulas abordando o tema com o uso do texto referenciado nos planos de aula propostos. A finalidade dessa etapa é de levar o debate à cerca da construção científica de uma teoria trazendo em debate as contribuições de Rumford, Mayer, Joule, entre outros, com a perspectiva de causar impacto nas concepções contextualmente errôneas dos estudantes. Ao final da sequência foi realizada a demonstração do experimento de Joule sobre o equivalente do calor, suas contribuições e o papel de Rumford nesse episódio da ciência. Os resultados de todo processo foram analisados, refletidos e compartilhados com a comunidade escolar, a fim de colaborar com a evolução da prática de ensino da instituição.

Pelo momento pandêmico, utilizamos uma dinâmica bastante diferente do pretendido de um ensino presencial, marcada pelo ensino remoto, tornando-se um desafio para toda comunidade escolar. A pandemia nos trouxe uma nova perspectiva, uma mudança de visão de mundo, resultado de um momento de incertezas. Especificamente, o ensino vem sendo influenciado de maneira exponencial pelas Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) em suas tendências pedagógicas. Mesmo vivenciando a década do desenvolvimento tecnológico, foi notável descortinar as dificuldades vigentes da comunidade escolar com o uso das TDICs para fins didáticos. A utilização cada vez maior de recursos tecnológicos já traz benefícios manifestos durante o período pandêmico para o contexto educacional, como times mais colaborativos, gestão de tempo, compartilhamento de informações, dinamicidade das aulas e outros fatores de evolução. Baseado no momento atual, esta abordagem buscou acompanhar as transformações tecnológicas, que inovam e reinventam as questões metodológicas num processo contínuo ocupando um papel relevante nas modificações ocorridas na sociedade.

Todo processo de contato com os estudantes ocorreu virtualmente e as aulas ocorreram remotamente e com distribuição de atividades impressas entregues àqueles estudantes que não possuem acesso à internet. Esse público, que possuía internet acessível, acompanhava as aulas online no turno da manhã, denominadas como aulas síncronas. Outra etapa ocorrida foram as aulas assíncronas em que os estudantes que participavam das aulas online realizaram atividades fornecidas na plataforma virtual, *Google Classroom*. Além disso, aqueles inacessíveis a essa tecnologia obtiveram uma atividade impressa, disponibilizada na escola aos pais ou responsáveis desses discentes. A atividade precisou ser repensada para atender as necessidades específicas dos alunos e alunas que não poderiam de maneira alguma ser assistidos com as aulas síncronas.

Por fim, como houve uma intervenção pela aplicação do questionário, esta proposta seguiu todos os aspectos éticos, sendo apreciada pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do CFP/UFCCG, onde foi aprovada sua execução. O número de registro na Plataforma Brasil é CAAE: 38218620.3.0000.5575.

Concepções dos alunos acerca dos conceitos térmicos

Na primeira questão os estudantes relacionaram corretamente o estudo da energia térmica com a área da Termodinâmica, e 85.7% souberam responder a proposta corretamente. A partir do primeiro momento, percebe-se as condições iniciais da turma a respeito do conteúdo, classificada como satisfatória. Uma porcentagem de 9.5 dos entrevistados escolheu a Mecânica como correta. Acreditamos que a escolha se deu pelo fato de terem estudado energia mecânica no ano letivo anterior, construindo essa descrição a respeito da energia. Uma porcentagem

mínima (4.8%) marcou a Eletrodinâmica relativa à energia térmica, evidenciando a escolha pela concepção do senso comum de que energia está exclusivamente ligada a eletricidade.

Na segunda questão, a grande maioria respondeu de maneira correta. Destacamos que, de todas as respostas, apenas quatro explicaram o motivo de terem escolhido tal sentido da propagação do calor. Respostas como “*o calor é a energia térmica que passa de um corpo com maior temperatura para outro com menor temperatura, afim de atingir o equilíbrio térmico. Assim, o fluxo de calor passa do corpo que tem maior temperatura (a mão) em direção ao corpo que tem menor temperatura (a superfície). Então, significa que ao tocarmos com as mãos uma superfície fria é a mão que transmite energia para a superfície*” evidencia que os subsunções que se pretende construir, como citados por Ausubel (Moreira & Masini 2006) já estão formados no cognitivo de parte dos sujeitos. Isso se caracteriza como um fator positivo, assim pudemos abordar de maneira aprofundada a evolução do estudo do calor.

Claramente, é possível também notar a descrição que os estudantes fazem do calor com a diferença de temperatura entre corpos, explícita em algumas respostas como “*toda vez que dois corpos ou objetos de temperatura diferentes entram em contato a tendência é se igualar*” o estudante expressa o equilíbrio térmico, mesmo sem dar menção. Das vinte respostas, duas delas citam o equilíbrio térmico: “*a energia que se desloca da minha mão para a superfície fazendo com que haja um equilíbrio térmico* e “*o calor presente na minha mão se desloca para a superfície fria, a fim de atingir o equilíbrio térmico*”, sendo esta última manifestando uma leve noção do calor como substância, expressão da teoria do substancialista, pois cita o calor como algo pertencente a ao corpo. Apenas um estudante admite o sentido oposto da propagação da energia: *eu acredito que seja o frio que se desloca para a sua mão*. Essa questão nos concedeu o discernimento dos diferentes julgamentos dos estudantes acerca do assunto, constatando, ademais, que existe no cognitivo de alguns a ideia calórica da natureza do calor, como também compreensões distantes do condizente.

A terceira questão revela um conhecimento superficial sobre o calor, já que a palavra chave entre as respostas foi “energia”. Os estudantes não detalharam como seria essa energia, mas isso também não foi algo exigido na pergunta. Contudo, algumas respostas carregam uma contextualização errônea do calor como “*forma de energia determinada pela agitação de partículas*” (14.3% das respostas), “*temperatura quente, quanto mais quente mais calor*” (4.8% das respostas), “*grau de agitação dos átomos*” (4.8% das respostas), “*energia térmica com uma temperatura mais elevada*” (4.8% das respostas), “*uma sensação térmica*” (4.8% das respostas) e “*sensação térmica de quando um lugar está muito frio ou quente*” (4.8% das respostas). Mesmo havendo equívocos conceituais, as respostas convergem com a temática da terminologia e outras respostas demonstraram maior integridade como “*energia térmica que passa de um corpo com maior temperatura para outro com menor temperatura*” (14.3% das respostas) ou “*energia térmica em movimento/transfêrencia de energia de um corpo para outro*” (24% das respostas), correspondente a um número considerável dos pesquisados.

Na pergunta subsequente, a qual pedíamos para distinguir os conceitos de temperatura, energia térmica e calor, nenhum aluno conceituou energia ou conseguiu distingui-la dos outros conceitos. Isto era esperado de certo modo, já que não há um conceito exato para energia, e até mesmo para físicos, é complexo fazer uma conceitualização simples. Entretanto, obtivemos uma quantidade razoável de desenlaces para o calor como transferência de energia e da temperatura como grau de agitação de moléculas; outras respostas denotaram o consenso popular de quente e frio, além de uma confusão entre calor e temperatura como “*o calor é uma temperatura quente, ou seja, quanto mais quente, mais calor. Temperatura é o que distingue se está quente ou frio*”, como também outras conjecturas errôneas como “*o calor é externo ao objeto, provoca aumento de temperatura e vaporização da água e a temperatura é interna ao objeto como a sensação de quente e frio ou a medição deles*”. Constatamos gradativamente a superficialidade do entendimento da turma com os temas, o que nos permite traçar estratégias sobre a evolução dos conceitos, como a distinção entre calor e temperatura feita por J. J. Becher (Passos 2009).

Quando os alunos foram questionados sobre a sensação térmica entre tocar no alumínio e na madeira, observa-se a diversidade de repostas confusas e errôneas, como “*o alumínio é um*

condutor melhor do que a madeira, então a temperatura ambiente, ele dará a impressão que está mais frio, pois ‘ele não absorve calor como uma tábua de madeira’ e ‘acredito que seja por conta da chapa reter mais frio do que a tábua’. São respostas criativas de mentes férteis e que demonstram a inhomogeneidade do conhecimento prévio, que posteriormente, problematizadas em aula com os conflitos existentes no cognitivo dos indivíduos, buscou-se a obtenção da aprendizagem significativa. Em particular, duas respostas atraíram nossa atenção: *“porque o alumínio tem mais capacidade de receber calórico que a madeira. Assim, como a mão perde mais calórico para o alumínio do que para a madeira, sua temperatura diminui mais e mais rapidamente na interação com o alumínio, aumentando a sensação de frio”* e *“o alumínio tem mais capacidade de receber calórico do que a madeira, assim a mão perde mais calor quando toca o alumínio do que quando toca a madeira”.* São duas concepções condizentes da teoria do calórico, onde o calor é uma quantidade fluida que se transfere de um corpo para o outro. Mesmo acreditando-se que os estudantes não tenham dispostos de qualquer tipo de aproximação com a antiga teoria, é algo que concerne em parte da concepção comum.

Por fim, a última pergunta pedia para assinalarem qual alternativa seria a correta no que se refere ao comportamento das moléculas de uma substância quando a mesma é aquecida. Cerca de 85% respondeu corretamente, indicando que as moléculas ficam mais rápidas e afastadas entre si. Isso evidencia a compreensão no viés cinético pelos estudantes. Traz o entendimento da existência das duas concepções no cognitivo, referentes à teoria substancialista e à teoria do movimento.

Esta etapa transparece a importância de uma avaliação diagnóstica para se entrar em campo de conflito, conhecer o sujeito e suas peculiaridades, seu entendimento de mundo, devendo ser sempre considerado para superar visões descontextualizadas da física. O processo configurou-se de modo diagnóstico e de controle, permitindo uma reflexão de como o professor poderia contribuir na estrutura formativa dos indivíduos com um caráter intencional acompanhando os processos de aprendizagem e facilitando a compreensão de como a própria aprendizagem se concretiza. Portanto, a seguir, discutiremos a sequência didática utilizada para a promoção de uma aprendizagem significativa no tema em questão, planejada a partir do diagnóstico que acabamos de apresentar.

Aplicação dos recursos didáticos

A intervenção pedagógica foi dividida em duas modalidades remotas: aulas síncronas e assíncronas. Inicialmente, foram ministradas três aulas acerca da temática do calor de maneira síncrona. Na primeira aula foi enfatizada pelo professor a ascensão do conceito de calor desde a Grécia Antiga até a denominação da combustão como reação química no século XVIII, que explicava o aumento do peso material experimentada por Lavoisier no desenvolvimento do calórico.

Perante o primeiro momento, os estudantes foram questionados sobre *“qual a primeira coisa vem na sua mente quando veem ou ouvem a palavra calor?”* Respostas como *“fogo”, “sol”* e *“quente”* foram as mais colocadas. Em primeira instância, isto demonstra a relação intuitiva ao fogo, a qual norteou a discussão quanto à conformidade primordial do elemento fogo, com a explicação de fenômenos térmicos na visão de *“fogo tênue”* de Empédocles e da natureza elementar aristotélica, bem como a primeira perspectiva da teoria dinâmica proposta pelos atomistas. Essa visão atomista deixou a turma admirada, já que a relação que tinham de estudo dos movimentos estava associada a época de Galileu e sucessivamente a de Newton.

Posteriormente foi tratado sobre o flogístico atribuído por Ernst Stahl, seguindo as ideias de Joachim Becher, como ingrediente intrínseco de materiais inflamáveis. O entendimento de Stahl estava centrado em dois fenômenos, a calcinação do calcário em cal e a combustão de materiais: *“Tanto a combustão quanto a calcinação seriam devidas à presença de um princípio inflamável (flogístico), presente no fenômeno: quanto mais combustível o material, mais flogístico ele possui”* (Silva *et al.* 2013: 505).

As explicações fornecidas pelos adeptos ao flogístico a esse problema estavam afeiçoadas em questões culturais, religiosas e sociais da época. A falta de observações empíricas também contribuiu para sua desestabilização, em meio a uma ciência que aluía o etéreo. Além disso, os discentes foram questionados sobre “*se é sempre necessário o fogo para existir calor*”. Poucos foram os que responderam oralmente à pergunta, e os que responderam deram o *não* como resposta. O professor solicitou uma justificativa e algum exemplo, e somente um aluno argumentou usando como exemplo o micro-ondas como forma de aquecimento que não utiliza o fogo. Mesmo com uma única explicação sobre o questionamento, a problemática atendeu as expectativas do docente estabelecendo uma zona de confronto com as ideologias gregas e até mesmo com a ideia do flogístico.

No terceiro momento, ainda da primeira aula, a discussão foi conduzida a respeito da teoria do calórico, que explicava os fenômenos de maneira mais convincente que o flogístico e fundamental no desenvolvimento em diversas áreas da termodinâmica. Foram esclarecidas as contribuições de Black, antes adepto do flogístico, e após o conhecimento dos estudos de Lavoisier, ajudou a desenvolver a teoria calórica. Outro ponto discursivo foi o fato dos conceitos de temperatura e calor ganharem distinção com os próprios trabalhos do Black. Não foi adentrado perspicazmente no conceito de temperatura, no entanto, ficou explícito a disparidade conceitual entre os termos. A temática da temperatura foi abordada no material impresso direcionado aos estudantes que não possuíam acesso à internet. Esta etapa configurou-se para que os sujeitos compreendessem que o calor ainda é pensado pelo senso comum com perspectiva das teorias antigas. Os discentes deixaram explícito o comum uso da palavra calor sem uma compreensão de concerne científico, mas modificada no desenvolvimento no qual o ensino ia intensificando-se.

A segunda aula entrou no campo de “desestabilização” do calórico, etapa onde o professor destacou a importância de Benjamin Thompson, Robert von Mayer e James Joule. A temática foi trabalhada afim de desenvolver uma linguagem científica, competências e habilidades presentes na BNCC (Brasil 2018). A aula foi iniciada com o texto *Entrevista com o Conde Rumford: da teoria do calórico ao calor como uma forma de movimento* (Medeiros 2009). A produção conta com um roteiro narrativo e cômico, nos quais personagens fictícios entrevistam o falecido Conde para desvendarem as complexidades do calor, a partir das contribuições empíricas e intuitivas de Benjamin Thompson e de outras figuras consideráveis no desenvolvimento da história do calor.

O texto supracitado é direcionado a professores e historiadores da ciência. Para uso em aula foi necessária adaptação para que sua leitura não ficasse longa e cansativa, assim, não ocorrendo o desgaste e insatisfação da turma. Os estudantes receberam um *QR code* direcionando-os ao texto adaptado, realizando uma leitura compartilhada. Os personagens foram divididos entre os estudantes para ocorrer uma dinamicidade, e o texto, que se aparentava enorme e exaustivo para o público, apresentou uma relação tênue e divertida para os participantes. Essa atividade caracterizou-se como o momento de maior interação e interesse dos estudantes, os alunos e alunas puderam interagir e descobrir juntos sobre a vida e obra do Conde Rumford.

Na terceira e última aula, as discussões acerca do texto foram retomadas enfatizando alguns dos vários experimentos realizados por Thompson sobre o calor como forma de movimento, entre eles estavam os testes com armamentos na antiga Baviera. “Thompson observou que a temperatura das balas, logo após deixarem as armas, era muito alta, e parece ter suposto que seria mais alta do que a temperatura causada apenas pela explosão” (Silva *et al.* 2013: 523). Diferente do que é exposto em diversos livros didáticos, o Conde não derrubou a teoria do calórico. Ele foi precursor do que mais adiante viria a sua ruptura, com os trabalhos de Mayer, Joule e até mesmo Hermann von Helmholtz. Os dois primeiros foram evidenciados na abordagem com a determinação do equivalente mecânico do calor.

Ainda durante a aula, os estudantes desenvolveram um experimento simples análogo as experimentações do Conde Rumford. A prática experimental contou com o uso de uma panela de alumínio e de uma lâ de aço (**Figura 1**), os discentes atritaram a lâ na panela em movimento contínuo. Sem que o professor alertasse o que poderia ocorrer, os próprios alunos e alunas

constataram o aumento da temperatura, dado pela transformação da energia cinética em energia térmica, uma transferência de energia entre os corpos atritados.



Figura 1. Experimento simples de geração de calor por atrito utilizado pelos alunos.

Antes de conceituar a teoria atual do calor foi discutido sobre o equivalente mecânico do calor e os trabalhos de Mayer e Joule na obtenção de um valor que relacionasse o trabalho mecânico e o calor. A discussão girou em torno dos resultados experimentais de Joule atribuindo-lhe a homenagem na unidade para energia. Nesse sentido, de forma assíncrona o docente disponibilizou um vídeo (**Figura 2**) de sua autoria, hospedada na plataforma *YouTube*, ressaltando o experimento realizado por Joule na obtenção do valor de 4.184 J para elevar de 1°C a temperatura de 1 g de água.



Figura 2. Reprodução do experimento de Joule.

Este experimento foi construído com materiais de baixo custo. Na **Figura 3** ilustramos os materiais utilizados. Na **Figura 4** ilustramos o experimento já montado. O vídeo foi uma produção simples como complementação e suporte das aulas síncronas. A hospedagem do vídeo permitiu que em outros momentos os alunos conseguissem revê-lo ou outros sujeitos pudessem utilizá-lo para fins didáticos, em aulas acerca da temática ou assisti-lo por curiosidade relacionada ao feito experimental de James Joule, como contribuição na ciência e na sociedade em geral.



Figura 3. Materiais de baixo custo utilizados para reproduzir o experimento de Joule.



Figura 4. Experimento de Joule.

Considerações finais

Diante do que foi desempenhado, os objetivos pretendidos foram alcançados, perante a apropriação de uma avaliação contínua, contando com o desempenho em sala de aula e distante de uma atribuição de valores quantitativos. O professor observou as transformações nas ideias errôneas dos estudantes e o conceito de calor foi empregado gradativamente ao longo da intervenção, assumindo um papel significativo na compreensão dos fenômenos naturais de cada indivíduo. Este processo também serviu como uma reflexão qualitativa da prática docente com atitudes de analisar, escolher, elaborar, quantizar, qualificar, compreender, corrigir, errar, reorganizar, ensinar e aprender, pertencentes ao primor do magistério.

Entendemos que esta abordagem didática concede a alfabetização científica dos envolvidos e contribui na formação integral dos indivíduos desenvolvendo a autonomia e competência. A partir do cenário explorado, percebemos a importância de uma abordagem didática elaborada nos cânones de um ensino transformador, e o emolduramento da revisão literária proporcionou uma consideração sobre a defasagem no ensino de física da educação básica. As concepções errôneas a respeito do calor foram identificadas com o uso de uma avaliação diagnóstica e o processo de mudanças conceituais efetivaram-se com a sequência didática escolhida. Portanto, o uso da HFC foi de importante relevância na obtenção dos resultados, estimados como discerníveis.

Vários instrumentos foram utilizados direta ou indiretamente na realização da pesquisa, TICs, experimentações, HFC, entre outros. Diversas possibilidades poderiam ser abrangidas de maneira eficiente, mas o que diferencia essa sequência didática é o significado das concepções dos estudantes, pois não adianta uma metodologia construtivista e teoricamente ativa sem proporcionar a significação da realidade e do que condiz com a ciência. A discussão será levada a diante e o ensino de física significativo abre espaço para outras abordagens no âmbito da HFC e de um ensino por competências em outras situações, almejando que este raciocínio será conduzido em práticas futuras, com o discernimento de um agente transformador da educação.

Apesar de a sequência didática ter sido realizada no contexto remoto, ela poderá facilmente replicada no ensino presencial. Como perspectivas, pretendemos difundir o material produzido tanto aos professores do ensino médio, quanto aos discentes de graduação em Física, no intuito de oferecer uma ferramenta que se mostrou extremamente eficiente no aprendizado do conceito de calor.

Agradecimentos

Aos avaliadores pelas críticas construtivas ao texto.

Referências

- Brasil (2018) Base Nacional Comum Curricular: ensino médio. Brasília: MEC (SEB). 600 p.
- Brasil (2002) Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC (SEMTEC). 40 p.
- Brasil (2000) Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio. Brasília: MEC (SEMTEC). 109 p.
- Forato T.C.M. (2009) A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz. Tese (Programa de Pós-Graduação em Educação). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Martins R.A., Silva C.C. & Prestes M.E.B. (2014) History and Philosophy of Science in Science Education in Brazil. *In*: Matthews M.R. (Ed.). International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching. Australia: Springer. 520 p.
- Martins R.A (2006) Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. *In*: Silva C.C. (Ed.). Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física. 210 p.

- Matthews M.R. (1995) História, filosofia e ensino de ciências: tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12(3): 164–214.
- Medeiros A. (2009) Entrevista com o Conde Rumford: da teoria do calórico como o calor como uma forma de movimento. *Física na Escola*, 10(1): 4–16.
- Moreira M.A. (2021) Desafios no ensino da física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43(supl. 1): 1–8.
- Moreira M.A. & Masini E.F.S. (2006) Aprendizagem Significativa: a teoria de David Ausubel. 2^o edição. São Paulo: Centauro. 111 p.
- Passos J.C. (2009) Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 31(3): 1–8.
- Silva A.P.B., Forato T.C.M. & Gomes J.L.A.M.C. (2013) Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(3): 492–537.