



Repertório docente para a abordagem histórico-investigativa: um exemplo com o efeito Seebeck

Teaching repertoire to historical-investigative approach: an example with the Seebeck's effect

José Antonio Ferreira Pinto^{1,2} , Vinicius Santos² , Ana Paula Bispo da Silva² 

1. Secretaria da Educação e da Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campina Grande (PB), Brasil.

2. Universidade Estadual da Paraíba – Campina Grande (PB), Brasil.

Autora correspondente: anabispouepb@gmail.com

Editores de Seção: Maria Consuelo Alves Lima e David Antonio da Costa

Recebido: 18 Out. 2021 | **Aprovado:** 16 Dez. 2021

Como citar: PINTO, J. A. F.; SANTOS, V.; SILVA, A. P. B. Repertório docente para a abordagem histórico-investigativa: um exemplo com o efeito Seebeck. *Ensino & Multidisciplinaridade*, São Luís (MA), v. 8, n. 1, e0122, 2022. <https://doi.org/10.18764/2447-5777v8n1.2022.1>

RESUMO

Este artigo teve como objetivos apresentar e discutir a construção do repertório docente por um futuro professor para a utilização da abordagem histórico-investigativa. Para isso, partiu-se do pressuposto de que a abordagem histórico-investigativa apresenta potencialidades para a melhoria do ensino de ciências ao permitir a construção de um ambiente investigativo em sala de aula, ao mesmo tempo em que oferece discussões sobre o processo de aquisição de conhecimento científico em uma perspectiva histórica. Durante a elaboração de seu trabalho de conclusão de curso em Licenciatura em Física, um futuro professor relatou em seu diário apontamentos e reflexões acerca da tentativa de reprodução de um experimento histórico e sua adaptação para uma possível sala de aula. O experimento histórico escolhido foi o correspondente ao efeito Seebeck, para o qual já havia literatura em português para consulta. Analisando seu diário à luz da concepção de reflexão crítica de Brookfield (2017), conseguiu-se identificar os três tipos de assunção no seu processo reflexivo: paradigmático, prescritivo e causal. Concluiu-se que propor e vivenciar um processo investigativo, durante sua formação inicial, auxiliou o futuro professor no desenvolvimento de habilidades e reflexões críticas, esperadas para compor o perfil de um profissional que tenha a intenção de implementar a abordagem histórico-investigativa em sala de aula.

Palavras-chave: Ensino de ciências. Abordagem histórico-investigativa. Repertório docente.

ABSTRACT

This article aimed to present and discuss the construction of the teaching repertoire by a future teacher for the use of the historical-investigative approach. For this, it was assumed that the historical-investigative approach has the potential for improving science teaching, because it allows the construction of an investigative environment in the classroom and offers discussions on the process of historically acquiring scientific knowledge. During the elaboration of his final work for the conclusion of the undergraduate course in Physics, the future teacher reported in his diary notes and reflections about the attempt to reproduce a historical experiment and its adaptation to a possible lesson plan. The historical experiment chosen was the Seebeck's effect, for which there was already literature for consultation. Analyzing his diary in light of Brookfield's (2017) conception of critical reflection, it was possible to identify the three types of assumption in his reflective process: paradigmatic, prescriptive, and causal. Thus, it was concluded that proposing and experiencing an investigative process, during the initial training, helped him to develop skills and critical reflections, which is expected to compose the profile of a professional who intends to implement the historical-investigative approach in the classroom.

Keywords: Science teaching. Historical-investigative approach. Teaching repertoire.

INTRODUÇÃO

A abordagem histórico-investigativa pressupõe a união de dois temas extensamente abordados na literatura em ensino de ciências: a contribuição da história da ciência e o ensino por investigação. Nessa abordagem, experimentos ou instrumentos históricos são utilizados em sala de aula visando à criação de um ambiente de investigação. Ao reproduzir um experimento, utilizar um instrumento, ou discutir um relato de atividade experimental, todos baseados em estudos de caso históricos, os estudantes recriariam o ambiente de discussão original, compreendendo o processo que levou a determinado conhecimento (HEERING; HÖTTECKE, 2014; BATISTA; SILVA, 2018; VICENTE; PINTO; SILVA, 2020). O foco no processo do conhecimento científico, em vez de nos produtos da ciência, permitiria a aquisição de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais (ZABALA, 2015), bem como aspectos relacionados à natureza da ciência (CHANG, 2011; JARDIM; GUERRA, 2017; PINTO; SILVA; FERREIRA, 2017).

No entanto, assim como os temas isoladamente, a abordagem histórico-investigativa também possui alguns obstáculos a serem superados. Da parte da história da ciência, a abordagem carrega a dificuldade das fontes originais, da reconstrução dos experimentos/instrumentos e do anacronismo. Reproduzir um experimento histórico implica dispor de materiais e possuir conhecimento de práticas específicas que não são relatadas nas fontes originais e que já foram muitas vezes esquecidas, o que torna praticamente impossível evitar o anacronismo (PESTRE, 1994). Já da parte investigativa, a abordagem implica rever uma sala de aula que está centrada no professor e no conhecimento do livro didático para focar no estudante, em seu processo argumentativo, acompanhar seu planejamento e entender seus erros (CARVALHO, 2013). Tais obstáculos acabam por impedir que um professor experiente utilize a abordagem histórico-investigativa, ou então não atinja os resultados esperados (HÖTTECKE; SILVA, 2011; BATISTA; SILVA, 2019).

Produzir um repertório didático que envolve abordagens diferenciadas, como é o caso da abordagem histórico-investigativa, é algo complexo. Sendo assim, torna-se relevante que essa abordagem comece a ser discutida ainda na formação inicial do futuro professor, inserindo-se em disciplinas vinculadas à prática em sala de aula, como práticas supervisionadas, metodologias para ensino e estágios supervisionados. Espera-se que, adquirindo os saberes necessários durante a formação, o futuro professor possa iniciar a profissão docente em outra perspectiva e superar os obstáculos discutidos.

Nesse sentido, este artigo analisou as reflexões feitas por um futuro professor ao se preparar para utilizar a abordagem histórico-investigativa numa proposta para a educação básica. O conteúdo escolhido foi o efeito Seebeck, o qual deveria ser introduzido em sala de aula por meio da reprodução dos experimentos de Thomas Seebeck (1770-1831). Para planejar sua proposta, o futuro professor buscou conhecer as fontes originais e testar o experimento, relatando suas reflexões e tentativas em um diário. Nesse processo, ele lidou com os próprios erros e tentou conciliar as dificuldades práticas que teve com possíveis dificuldades de seus alunos, registrando todo o processo em um diário que viria a se tornar seu trabalho de conclusão de curso.

Com base nesse diário, fizeram-se algumas considerações acerca de como os obstáculos dos temas de história da ciência, experimentação e ensino investigativo foram incorporados em suas reflexões durante a imersão experimental relativa ao episódio de Seebeck. Buscou-se observar a presença de elementos conceituais que indicam obstáculos relacionados à história da ciência e de dificuldades experimentais que levam às adaptações que permitiriam sua utilização no contexto de sala de aula da educação básica.

Além disso, conforme a concepção de reflexão crítica de Brookfield (2017), realizou-se uma breve análise sobre as discussões presentes nos registros do diário e que revelavam preocupações com estratégias didáticas para a criação do ambiente investigativo, no que se chama de imersão didática, ou seja, o processo crítico de planejamento, envolvendo discussões teóricas, práticas com objetivos didáticos.

Assim, pelas reflexões presentes nos registros do diário do futuro professor, que a partir de agora será denominado de Cris, nome fictício para manter o anonimato, explicitam-se potenciais elementos histórico-investigativos para a construção de problemas didáticos a serem levados para a sala de aula da educação básica. Além disso, discute-se o impacto da imersão experimental e didática, com base em um episódio da história da ciência, na construção crítica de seu repertório didático no uso da abordagem histórico-investigativa.

ESTUDO DE CASO HISTÓRICO: O EFEITO SEEBECK

Thomas Johann Seebeck (1770-1831) foi um estudioso independente, sem vínculo com universidade, que fez estudos sobre diferentes temas envolvendo minérios, óptica, magnetismo etc. Sua obra não é extensa, sendo a maioria publicada em alemão, e ele é pouco reconhecido nas ciências físicas, a não ser pelo chamado efeito Seebeck: o processo de produção de corrente elétrica quando dois metais específicos (unidos nas extremidades) são submetidos a uma diferença de temperatura entre suas extremidades. Considerando-se a estrutura da matéria como se conhece atualmente, o efeito Seebeck ocorre em razão dos processos de condução térmica e elétrica dos elétrons, gerando uma diferença de potencial entre as extremidades dos metais, os quais possuem diferentes configurações eletrônicas (SILVA, 2019a).

No entanto, quando Seebeck observou esse fenômeno, a matéria ainda não era aceita como discreta, e sua explicação estava relacionada às concepções filosóficas românticas, como a *naturphilosophie* (CANEVA, 1997; SILVA; SILVA, 2017). Seguindo os mesmos pressupostos de Hans Christian Oersted (1777-1851) na relação entre eletricidade e magnetismo, Seebeck supôs que poderia haver relação entre calor e magnetismo. Ao reproduzir os experimentos de Oersted, o estudioso observou que, ao tocar dois metais quentes (em processo de solda), a agulha da bússola defletia. Por esse motivo, ele conjecturou que talvez bastassem dois metais em contato para que a bússola defletisse e que a eletricidade ficasse restrita ao interior da célula galvânica (SILVA, 2019a).

Com base nessa hipótese, Seebeck realizou vários experimentos durante os anos de 1821 e 1823, até concluir que era a existência de uma diferença de temperatura que provocava a deflexão da bússola. Segundo ele, a diferença de temperatura (calor) entre as extremidades de dois metais unidos provocava a magnetização do fio, que, interagindo com a agulha magnética, fazia a bússola defletir (FERREIRA, SILVA, 2016; SILVA, 2019a).

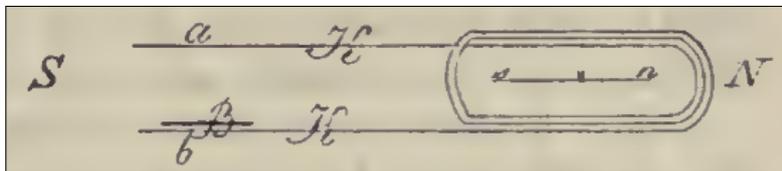
A reprodução dos experimentos de Seebeck não é um processo simples, pois seus trabalhos são muito vagos quanto aos procedimentos e materiais. Em parte, isso se deve ao período em que vivia, já que na primeira metade do século XIX a experimentação era majoritariamente qualitativa e os estudiosos estavam preocupados em descrever e comparar fenômenos (CANEVA, 1978). Também se deve a práticas e materiais que passaram a ser restritos a determinados grupos e não fazem mais parte dos conhecimentos comuns a quem lida com ciência. Por exemplo, Seebeck usava como metais cobre, zinco, bismuto, antimônio, urânio, prata, entre outros. Com exceção do cobre e do zinco, os demais não são fáceis de se adquirir nem de manusear. O bismuto, que Seebeck empregou no experimento principal fundindo-o com cobre, possui baixo ponto de fusão e derrete apenas com uma vela. Ou seja, para trabalhar com uma barra de bismuto, o estudioso deveria saber como fundir o material sem contaminá-lo ou destruí-lo. Esse tipo de conhecimento prático é específico de metalúrgicos. Portanto, a informação dada por Seebeck nos artigos que publicou (apenas dois)¹ é insuficiente para uma reprodução exatamente igual e acaba gerando uma série de especulações (SILVA, 2019b).

De acordo com o que foi resumidamente apresentado sobre o estudo de caso histórico, pôde-se concluir que sua adaptação para a educação básica considerando a abordagem histórico-investigativa apresenta várias possibilidades. Como a própria fonte original não fornece informações detalhadas, os estudantes têm de fazer suposições, estabelecer hipóteses etc., tanto para reproduzir o fenômeno quanto para explicá-lo. Outro aspecto interessante é explicar o fenômeno sem considerar a existência de elétrons e prótons. Que explicações podem ser dadas apenas pelo fenômeno? Que analogias os alunos construiriam para explicar como o calor afeta o ímã?

DIÁRIO DE UM FUTURO PROFESSOR

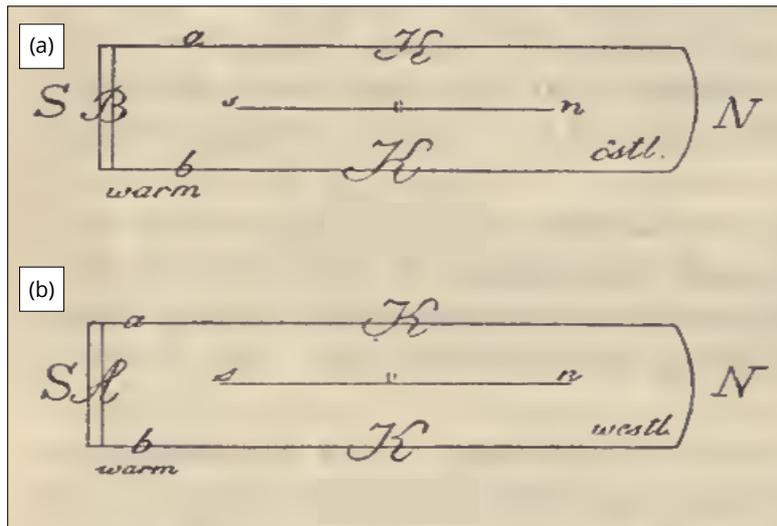
Para planejar sua proposta, o futuro professor dispunha de algumas amostras de bismuto, suficientes para realizar o primeiro experimento (Fig. 1). Já o segundo experimento (Fig. 2) deveria ter os metais substituídos, visto que não era possível produzir uma barra de bismuto conforme as especificações de Seebeck. Como não havia disponibilidade entre os horários do futuro professor e o laboratório da universidade, o licenciando fez todas as tentativas na sua casa. A seguir, são trazidos alguns trechos de seu diário e as reflexões.

¹ Sobre o primeiro artigo que trata da relação entre magnetismo e calor, ver: Seebeck (1895). O segundo artigo, sobre correntes galvânicas e magnetismo, é: Seebeck (1822).



K: cobre; B: bismuto; N: Norte; S: Sul; n: polo norte da bússola; s: polo sul da bússola.
 Fonte: Seebeck (1825).

Figura 1: Primeira montagem experimental de Seebeck.



Warm: quente; Westl.: Oeste; Östl.: Leste.
 Fonte: Seebeck (1825).

Figura 2: Segunda montagem experimental de Seebeck. Em (b), o metal utilizado é o bismuto; na (a), o antimônio.

IMERSÃO EXPERIMENTAL

Primeiro experimento de Seebeck

Os primeiros passos para a montagem do experimento consistiam em montar o experimento e aferir se ele funcionaria. Num primeiro momento, tentei montá-lo apenas com conhecimentos prévios que possuía, sem pesquisar nenhuma informação mais específica. Como esperado, quando se tenta fazer algo a que não se preparou para realizar, o experimento não funcionou.

Eu já havia feito um curso técnico em eletroeletrônica na instituição de ensino Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai), algo que no decorrer do curso de Física me ajudou bastante, tanto para entender melhor certos assuntos quanto em disciplinas, como Laboratório Didático, que necessitavam de certa prática técnica em montar certos aparatos e experimentos. Com os elogios de muitos professores de laboratório, não tive problemas em ser aprovado nessas disciplinas, porém o ser humano, quando não encontra dificuldade nas tentativas, acaba acomodando-se.

Assim, quando a professora começou a me orientar nesse projeto, falou-me para, a princípio, focar em fazer o experimento funcionar, ou seja, confirmar as conclusões que Seebeck havia obtido. Com excesso de confiança e pouco conhecimento sobre o tema, realizei a primeira tentativa ao tentar construir um experimento que funcionasse.

Eu já sabia, pela experiência técnica, que um termopar funcionava com dois metais distintos em sua ponta, os quais, em contato e com variação de temperatura, iriam gerar uma baixa tensão quando conectados a um circuito e que, quando uma corrente passa por um fio, esta induz um campo magnético ao redor do fio seguindo a regra da mão direita. Pensei que esses conceitos prévios já seriam o bastante para a realização do experimento. Assim, achei que apenas conectando e aquecendo metais diferentes nas extremidades de uma fita de cobre de 1 metro, enrolada em volta de uma bússola, seria suficiente para

induzir um campo magnético e ocasionar uma deflexão na agulha da bússola diferente da direção norte, porém não foi o caso: a agulha não se movia, a menos que se balançasse a bússola.

O primeiro teste foi feito utilizando uma folha de cobre e uma folha de zinco, conforme Figs. 3 e 4. Não era perceptível nenhuma alteração na direção da agulha da bússola, a menos que se movesse involuntariamente a espira. Isso foi desmotivador, pois tudo aparentemente estava correto.

Após esse teste, observei que a folha de cobre estava bem escura, possivelmente com uma camada fina de oxidação. Isso foi um caso a se pensar: poderia essa camada de oxidação estar impedindo o contato entre as folhas de metal e por isso não ter sido gerada a tensão entre os metais?

Então, resolvi lixar a folha de cobre. Quando passei a lixa pela primeira vez, observei que a folha de cobre ficou com marcas profundas. Pensei que, se toda vez que o experimento fosse realizado fosse necessário lixar a folha de cobre, esta iria se desgastar muito rapidamente. Procurei em casa uma lixa mais fina, para corroer o menos possível a folha de cobre. Como não a encontrei, resolvi passar lã de aço, algo usado para lustrar as panelas da cozinha e facilmente encontrado em diversos mercados.

Passei a lã de aço na folha de cobre e esta ficou muito mais limpa do que no início do experimento. Resolvi passar a lã de aço na folha de zinco também para garantir um bom contato. Realizei novamente o experimento e mesmo assim não obtive nenhuma deflexão na agulha da bússola. Dessa vez, pensei que fosse por causa da temperatura, que estava ambiente, e resolvi aquecer as folhas de metal utilizando um ferro de solda. Aproximei o ferro das folhas de metal e esperei alguns minutos. Quando a fita de cobre estava aquecida, cometi a imprudência de pressioná-la com as mãos, sem luvas, e acabei com uma queimadura em um dedo!



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Figura 3: Materiais utilizados para reproduzir a primeira montagem de Seebeck.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Figura 4: Primeira montagem do experimento 1 de Seebeck.

Porém, mesmo com o aumento de temperatura, não observei nenhuma deflexão na bússola. Constatei que deveria tomar mais cuidado ao utilizar metais aquecidos, além de refletir mais sobre o que poderia estar dando errado no experimento. Ao analisá-lo melhor, notei que a ponta da fita de cobre também estava escura e a lixei, até estar limpa e brilhante para melhor contato.

Novamente, realizei um teste, e, mais uma vez, o experimento veio a falhar. Resolvi então esquentar apenas uma das folhas de metal, enquanto a outra ficava em temperatura ambiente. Em primeiro lugar, aqueci a folha de cobre enquanto a folha de zinco estava em temperatura ambiente. Quando as duas foram colocadas em contato, nada ocorreu. Depois, foi aquecida a folha de zinco enquanto a folha de cobre ficava em temperatura ambiente, mas, quando ambas foram colocadas em contato, nada ocorreu tampouco. Nesse momento muitas dúvidas e indagações surgiram: o que pode estar errado? Será que a bússola está em boas condições?

Resolvi testar a bússola. Para isso, fiz um circuito simples com uma lâmpada halógena de carro e uma bateria. Aproximei um fio do circuito à bússola, semelhantemente ao experimento de Oersted, e enfim houve uma deflexão na agulha da bússola! A bússola foi testada também aproximando-se um ímã, havendo igualmente deflexão. Assim, sanei uma das dúvidas: a bússola estava em boas condições.

O passo seguinte foi analisar a fita de cobre que era enrolada por um tecido para isolar as espiras. Verifiquei que a fita não estava rompida, aferi a resistência da fita desenrolada e a da enrolada com um multímetro e observei que a resistência se manteve a mesma, 0,4 ohms, o que mostrou que o isolamento estava correto, garantindo a continuidade do circuito. Caso houvesse falha no isolamento, a resistência iria diminuir quando a fita fosse enrolada. Concluí que tudo parecia estar correto quando os materiais foram testados isoladamente, mas não juntos. Logo, foi necessário testar outros tipos de metal, como alumínio e latão, e variar com a folha de cobre e a folha de zinco.

Quanto aos metais utilizados, vale ressaltar que eram diferentes dos de Seebeck, que usou um disco de bismuto. Apesar de ter um disco de bismuto, optei por não utilizá-lo, já que não seria possível encontrar mais desse metal para montar o *kit* didático. Além disso, sabia que o bismuto é extremamente maleável e derrete a temperaturas não muito altas (a chama de uma vela, por exemplo, é suficiente). Portanto, facilmente eu perderia a única amostra do metal que possuía.

Depois de realizar os testes com os diferentes metais e ainda assim não observar nenhuma deflexão da bússola, desanimei e fui realizar o segundo experimento de Seebeck. Eu esperava que, enquanto fosse feito o próximo experimento, pudesse surgir alguma ideia para conseguir fazer o primeiro funcionar.

O segundo experimento de Seebeck

O segundo experimento consistia em uma barra de bismuto como base e em cima dela uma barra de cobre em formato de U, conforme a Fig. 2. Com as extremidades da barra U em contato com a barra de bismuto, a bússola ficaria no meio das barras, e seria aquecida uma extremidade das barras gerando um campo magnético que defletiria a agulha da bússola.

A primeira dificuldade que imaginei foi conseguir achar uma barra de bismuto, um metal caro e não tão simples de encontrar. Como o propósito era utilizar o experimento em aulas para o ensino médio, pensei imediatamente em substituir o bismuto por outro material de mais fácil acesso. Então, pesquisando um metal que fosse fácil de encontrar, o que me veio à mente foi o alumínio, metal que em casa eu tinha alguns pedaços remanescentes de um trilho de cortina. Então, decidi testar a configuração com o alumínio substituindo o bismuto.

De posse de uma fita de cobre e de uma barra de alumínio (retirada de um trilho de cortina), a dúvida que ficava era o tamanho necessário da barra para o experimento funcionar. Foram cortadas, assim, a barra de alumínio com 16 cm e a de cobre com 23 cm, torcendo para que o experimento fosse um sucesso.

Primeiramente, lixei as extremidades da fita de cobre, pois eu já sabia que era necessário um ótimo contato entre as partes metálicas, e moldei as barras de cobre com um alicate para serem fixadas acima da barra de alumínio. Então, veio a fase de fixar uma peça na outra. Sabia que não daria certo ficar segurando as barras com as mãos, pois, como era preciso aquecer uma extremidade, o calor poderia ocasionar queimaduras. Pensei em um modo de fixar uma barra na outra e manter um bom contato. Aparentemente, a solução mais viável era utilizar parafusos nas extremidades, e para isso perfurei as extremidades, tanto da barra de cobre como da de alumínio, para uma melhor fixação entre as peças. A barra de alumínio foi fácil de furar, porém na barra de cobre, que era muito fina, problemas surgiram. Se o furo fosse feito muito rapidamente e com muita força exercida na furadeira, a fita rompia ou enrolava na broca da furadeira. Tive então de furar com muita calma e cuidado, para que os furos ficassem bons.

Em casa foi fácil encontrar alguns parafusos sobressalentes de projetos passados. Utilizei aqueles que eram da espessura necessária para fixar uma barra na outra, com 5 mm de diâmetro. Posteriormente, imaginei que o material dos parafusos pudesse interferir no experimento, entretanto, no momento da montagem, não me atentei a isso e fixei as partes parafusando-as.

Era preciso um anteparo de madeira para elevar o experimento, pois a barra de alumínio seria aquecida com uma vela, e não seria possível segurar a barra com as mãos. Por causa da falta de tempo, improvisei um cepo de madeira abaixo da bússola, para que houvesse espaço para uma vela acesa, a fim de fornecer calor para o experimento. Tomei cuidado para deixar o cepo a uma altura razoável em que a vela ficasse abaixo das barras sem dificuldades e não tivesse contato com essas barras.

Em seguida, posicionei a bússola no centro das barras de metal e, colocadas sobre o cepo, tomei cuidado para alinhar Norte e Sul, a agulha da bússola com as barras de metal, para que qualquer deflexão fosse observada. A essa altura do experimento, esperava que, se houvesse uma deflexão, seria mínima. Portanto, era necessária bastante atenção à agulha da bússola.

Acendi uma vela e posicionei-a abaixo de um dos lados da barra de alumínio, mais ou menos na região onde estava localizado o parafuso, pois era onde se tinha melhor contato entre os dois metais (Fig. 5).



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Figura 5: Montagem 1 do segundo experimento de Seebeck.

A princípio, não se observou nada, mas, depois de alguns segundos, foi possível perceber um leve desvio para a esquerda na direção da agulha da bússola, algo muito sutil. Como minha atenção estava bem focada na bússola, pôde-se constatar a deflexão, assim como que a agulha já estava interagindo com o campo magnético nas barras.

Após essa observação, esperei algum tempo para a barra de alumínio voltar à temperatura ambiente. Não foi tão rápido, levou cerca de alguns minutos. Para agilizar o resfriamento, coloquei água gelada no lado aquecido da barra. Com a barra em temperatura ambiente, posicionei a vela na extremidade oposta à da barra de alumínio.

Foi possível verificar que dessa vez a agulha da bússola desviou um pouco para o lado direito, curiosamente o contrário do que tinha acontecido antes, porém já era esperado que isso fosse ocorrer, pois o fluxo de calor estava no sentido oposto. Então, pelo senso comum e não por fundamentação científica, esperava-se que o sentido da deflexão fosse o contrário.

Testei outra configuração: coloquei a barra de alumínio e a barra de cobre no *freezer*, para que sua temperatura estivesse mais baixa que a do ambiente no próximo teste. Imaginei que, como a variação da temperatura ambiente para um estado aquecido ocasionou uma leve deflexão, então se a barra estivesse bem abaixo da temperatura ambiente e fosse levada a um estado aquecido, a deflexão na bússola seria maior. Portanto, após 15 minutos, retirei as barras do *freezer* e o teste aconteceu. Coloquei a vela abaixo de uma extremidade da barra de alumínio, e dessa vez o desvio da agulha foi bem maior, algo muito satisfatório, pois foi bastante perceptível a deflexão na agulha da bússola.

Com uma diferença de temperatura maior, pude observar com maior facilidade a deflexão da agulha na bússola. Vi que nesse caso a deflexão era mais acentuada, no entanto ficar colocando a barra no *freezer* antes de cada tentativa tomava um tempo precioso. Pensei que, em uma sala de aula, seria um empecilho a barra ter de ficar em um *freezer* até a realização do experimento. Assim, era necessário encontrar uma maneira de resfriar uma extremidade da barra de forma que fosse possível o experimento ser replicado em sala de aula. Foi então que pensei no gelo, mantendo-o em um recipiente térmico e utilizando-o apenas no momento do experimento. O experimento foi, portanto, testado adicionando-se gelo na extremidade oposta à que se aquecia.

Foi nítido que com a barra em temperatura ambiente, posicionando o gelo em uma extremidade e aquecendo a outra ponta, a deflexão na agulha aconteceu de forma mais rápida: cerca de 40 segundos depois, já era possível ser notada. Inverti então os pontos de aquecimento e resfriamento, e rapidamente se constatou a inversão na deflexão da agulha da bússola. Após esse teste, a barra de alumínio já estava bem aquecida e haviam sido obtidos resultados bem satisfatórios.

Tive algumas conversas com a professora, e ela perguntou se havia sido realizado algum teste sem os parafusos unindo o cobre ao alumínio. Respondi que não, mas que poderia ser feito, assim como a melhoria de outros elementos do experimento.

Melhoria do segundo experimento

Quando se iniciava o experimento, a barra de alumínio ficava sobre um cepo de madeira bem suscetível a movimentos e balanços que poderiam afetar o movimento da agulha da bússola, e isso era um incômodo. Para aquecer a extremidade da barra, eu usava uma vela, que eu segurava com minhas mãos. Sabemos que uma pessoa não consegue deixar sua mão completamente imóvel por muito tempo, e assim a vela também se movia, podendo encostar na barra de alumínio e alterar o experimento de uma maneira desnecessária. Para sanar esses pontos negativos, precisei fabricar uma base ou suporte, na qual a barra ficasse bem encaixada e sem contato com a bússola. Teria de ser algo fácil de ser encontrado, como alguns pedaços de compensado de 15 mm que eu tinha em casa, uma folha de madeira muito usada na fabricação de móveis. Com esse suporte, era esperado que a bússola não ficasse em contato direto com a barra de alumínio, evitando movimentos por causa do manuseio, que a barra ficasse alinhada com a superfície e que a vela aquecesse um ponto fixamente. Nas peças em que a barra seria apoiada, fiz cavas no formato de degrau na espessura de 3,2 cm, para que a barra ficasse abaixo da bússola. Para a vela, fiz um suporte com altura variável, pois sabemos que a vela tem seu tamanho diminuído conforme o uso.

A fixação de uma barra na outra também foi alterada: os parafusos foram retirados e deram lugar a dois prendedores feitos de compensado, pois pensei haver interação apenas entre o alumínio e o cobre, sem a influência do metal dos parafusos.

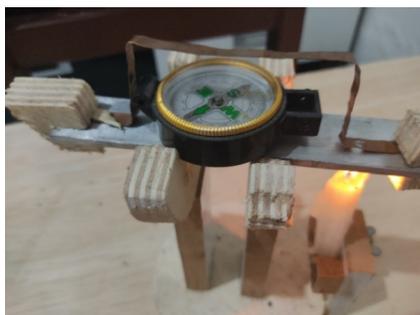
Realizei o teste com esse novo suporte. Nesse dia, não havia gelo em casa para ser usado. Então, fiz o experimento apenas aquecendo uma extremidade, o que não alterou seu funcionamento. Era bem perceptível a deflexão da bússola, e o suporte também facilitou o uso, pois agora bastava alinhar a agulha e o suporte na direção Norte e Sul, acender a vela e ajustar sua altura e, assim, esperar a deflexão da agulha ser observável.

Com esse experimento, cheguei à conclusão de que ele já estava adequado para ser usado em sala de aula, pois seus materiais de fabricação eram facilmente encontrados, a montagem era relativamente simples e o fenômeno observado era como o esperado. Ou seja, ao aquecer uma extremidade, logo era possível constatar características magnéticas.

Construí um segundo protótipo desse mesmo experimento, porém um pouco maior, utilizando barras de alumínio com 45 cm e de cobre com 53 cm. Foi necessário utilizar prendedores um pouco maiores, mas os passos para a montagem seguiram os procedimentos anteriormente citados, como lixar, moldar e unir as barras.

Por causa do maior tamanho das barras que seriam usadas agora, o suporte precisava de ajustes, pois era necessária uma peça para sustentar a barra próxima à sua extremidade, e o local em que a bússola se apoiava deveria ser ampliado. Com esses ajustes, o suporte permitiria o uso tanto da barra anterior quanto o da atual.

Realizei novamente o experimento, e por algum motivo a barra aqueceu bem, mas nenhuma deflexão foi observada. Fiz uma inspeção em todo o aparato, e vi que um prendedor que unia as barras estava com certa folga. Poderia essa folga prejudicar a união entre os metais impossibilitando o surgimento do magnetismo? Lembrei que, segundo Seebeck, o contato entre os metais é fundamental para o surgimento do magnetismo nesse caso. Então, fiz outro prendedor, com uma medida menor, 3 mm de abertura dessa vez, coloquei-o no lugar e refiz o experimento. Como podemos observar na Fig. 6, com a barra alinhada nas direções Norte e Sul, colocando-se a fonte de calor na extremidade norte e o gelo na extremidade sul, a agulha da bússola é defletida para a direção Leste (direita).



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Figura 6: Melhorias na montagem do segundo experimento. As barras foram unidas com prendedores de madeira, e o suporte permitia colocar uma vela embaixo dele.

Considerando a intensidade da deflexão observada com esse experimento (Fig. 6) e o baixo custo para montagem, escolhi esse protótipo como um modelo didático para ser usado em sala.

Breve análise e reflexão da imersão experimental

Nomeou-se essa fase de imersão experimental de *self*, pelo fato de Cris estar empenhado em conseguir um resultado positivo para o experimento, e para isso precisou focar em diferentes níveis de concentração e abstração, utilizando distintos conhecimentos e habilidades para tal. Além disso, sua preocupação em legitimar seus conhecimentos, por meio de resultados positivos para os experimentos, permitiu que ele refletisse sobre e pontuasse diferentes questões que, mediante a análise de seu diário, se mostraram relevantes para serem transformadas em problemas investigativos para a sala de aula.

Iniciando-se pelos registros que abordam o desenvolvimento da primeira tentativa de realizar o experimento, Cris optou por fazê-lo utilizando tão somente o seu conhecimento prévio. Nesse sentido, apesar de conhecer o episódio histórico, a presença e efetividade dos conhecimentos advindos dele ficaram em segundo plano durante a execução do experimento, embora o objetivo tenha sido relativo ao que era considerado nos resultados de Seebeck.

Nessa fase, Cris estava imerso na produção do experimento que tinha como primeiro plano a compreensão dos conhecimentos práticos e teóricos. Do ponto de vista da formação do profissional docente, essa é uma etapa essencial, ou seja, a imersão no contexto experimental, para compreensão das dificuldades e peculiaridades do experimento. Ainda assim, ao final de seu registro, há uma fala que demonstra que Cris também está preocupado, já nessa fase, com a sala de aula e com o experimento histórico: *“Apesar de ter um disco de bismuto, optei por não utilizá-lo, já que não seria possível encontrar mais desse metal para montar o kit didático”*. Essa seria uma preocupação com o acesso ao tipo de material utilizado e com a precisão em relação ao episódio histórico.

Com a imersão no primeiro experimento e contando com a breve reflexão acerca das dificuldades dos materiais para a reprodução do experimento em sala de aula, o registro do segundo experimento já começa com Cris externando as preocupações com os materiais desde o princípio: *“Como o propósito era utilizar o experimento em aulas para o ensino médio, pensei imediatamente em substituir o bismuto por outro material de mais fácil acesso”*. Novamente se tem a presença da preocupação didática com os materiais a serem utilizados nos experimentos. Embora com citações pontuais ao longo dos registros no diário, é possível perceber que essa intenção didática está presente ao longo do trabalho experimental, o que difere de uma experimentação comum realizada em um laboratório tradicional.

Já no início Cris demonstra que se pautará mais efetivamente no episódio histórico ao especificar a forma – *“O segundo experimento consistia em uma barra de bismuto como base e em cima dela uma barra de cobre em formato de U”* – e o conceito envolvido no experimento – *“seria aquecida uma extremidade das barras gerando campo magnético que defletiria a agulha da bússola”*. Aqui podemos perceber uma estruturação de conceitos e práticas que envolvem elementos do episódio histórico estudado. Esse fator torna-se particularmente relevante nesse tipo de atividade por permitir que as reflexões acerca do experimento se mantenham associadas diretamente com a abordagem histórica, o que diminui a possibilidade de que a(s) aula(s) a ser(em) planejada(s) resulte(m) em atividades experimentais que envolvem uma sequência de passos que compõem experimentos do tipo *cookbook* (PETERS, 2005).

Outro momento importante identificado se encontra ao final da etapa em que Cris busca melhorar o experimento 2. Aqui ele opta por um modelo que associa a boa visibilidade do fenômeno com o baixo custo para sua construção. Não apenas Cris está pensando no tipo de material para a efetiva construção do experimento, mas também no tipo de público que pode acessar esse experimento, acoplando um aspecto social às suas reflexões.

Ainda dessa fase de imersão experimental, separamos alguns dos possíveis problemas investigativos que chamamos de derivativos, por serem problemas procedimentais, estruturais e/ou conceituais que surgem nas etapas desenvolvidas no processo de construção do experimento histórico e que têm potencial para aparecerem em sala de aula durante a atividade investigativa:

Após esse teste, observei que a folha de cobre estava bem escura, possivelmente com uma camada fina de oxidação. Isso foi um caso a se pensar: poderia essa camada de oxidação estar impedindo o contato entre as folhas de metal e por isso não ter sido gerada a tensão entre os metais?

Esse trecho pode ser considerado um potencial para a construção de um problema didático que envolve a prática, associado ao material utilizado, e conceitual, por trazer uma relação causal com um fenômeno físico presente no currículo da física do ensino médio, tensão.

“Dessa vez, pensei que fosse por causa da temperatura, que estava ambiente, e resolvi aquecer as folhas de metal utilizando um ferro de solda [...]. Resolvi, então, esquentar apenas uma das folhas de metal, enquanto a outra ficava em temperatura ambiente”. Questões desse tipo são muito presentes no registro e exemplificam os diferentes arranjos experimentais que podem ser utilizados como problemas derivativos para explorar os conceitos do experimento de Seebeck.

Foi possível observar que dessa vez a agulha da bússola desviou um pouco para o lado direito, curiosamente o contrário do que tinha acontecido antes, porém já era esperado que isso fosse ocorrer, pois o fluxo de calor estava no sentido oposto.

Aqui, temos um exemplo de quando o experimento leva a observações que podem causar estranhamento e/ou confirmação. Nesse caso, ao reconhecer o fenômeno e o conceito envolvidos, o processo também pode constituir um problema derivativo.

Do ponto de vista de uma aula investigativa, esses problemas são importantes, e a imersão experimental, como essa realizada por Cris, pode auxiliar numa postura de mediação e continuidade das investigações por parte da turma em um contexto real de sala de aula. Ao final da análise dessa fase, pôde-se verificar a constituição de dois tipos de problema derivativo: conceitual, envolvendo um conjunto de conceitos e teorias relacionados à física e que podem auxiliar na composição de um quadro geral conceitual para a construção de uma proposta de ensino; e prático, que abrange uma vertente material (instrumentos, tipos de material, ferramentas) e procedimental (observações, coleta de dados, proposição de hipóteses etc.).

Além disso, o tipo de reflexão esteve permanentemente associado a uma concepção de proposição didática, o que, por envolver a construção de algo novo, necessitou que diferentes questões fossem levadas em consideração: linguagem, habilidades, conhecimentos técnicos, público-alvo etc. Veremos como isso refletiu em sua discussão apresentada no registro relativo à elaboração da aula e às dificuldades relacionadas.

IMERSÃO DIDÁTICA

Planejamento e dificuldades

Após finalizar o último protótipo, tentei resumir as dificuldades que tive, enquanto futuro professor, para pensar numa aula que tratasse do experimento de Seebeck (efeito termoelétrico) com base na abordagem histórica e experimental. Creio que posso separar essas dificuldades em três categorias.

Uma delas corresponde aos conteúdos envolvidos no assunto. Para conseguir realizar o experimento, entender as propriedades dos metais e ter conhecimentos básicos de eletricidade e magnetismo são fundamentais. Porém, no caso do experimento histórico, dominar a história sobre o experimento, as hipóteses e conclusões de Seebeck também é importante e pode, em grande parte, ajudar a solucionar os problemas que aparecem na prática. Foi o caso, por exemplo, da mudança dos prendedores – o principal empecilho para não obter resultados satisfatórios com o primeiro experimento. Conforme relata Silva (2019b), Seebeck não explicita várias condicionantes para conseguir a deflexão apenas com a temperatura da mão. Nesse caso são importantes a espessura dos metais (fita de cobre e disco de metal diferente), que precisam ser muito finos e limpos (a oxidação que observei de fato atrapalha) e também uma diferença de temperatura relativamente grande entre a ambiente (e metais) e a do corpo humano, o que só é possível submetendo um ou outro a extremos (por exemplo, o freezer ou a mão previamente aquecida).

Em outra categoria se encaixam as dificuldades procedimentais, relativas ao experimento propriamente dito. Nela entram especificidades como: encontrar materiais adequados; possuir habilidades técnicas, como marcenaria e eletrônica; e ter um espaço adequado para testar o experimento, bem como materiais de segurança pessoal. Essas dificuldades experimentais tornaram o primeiro experimento inadequado para o uso em sala de aula, tendo o segundo experimento maior possibilidade de utilização em classe, pela facilidade maior de manuseio.

Essas duas categorias afetam diretamente no planejamento da aula, pois englobam adaptar linguagem e materiais para outro contexto; assegurar a segurança dos alunos na manipulação dos equipamentos; e desenvolver uma aula que

estímulo o espírito investigativo e a criticidade dos alunos, ao mesmo tempo em que possibilite superar suas concepções prévias. Todavia, cada sala de aula é um contexto diferente, cada turma apresenta uma resposta distinta, e no planejamento é preciso prever também as reações desfavoráveis e planos alternativos, caso seja preciso fazer modificações. Portanto, o planejamento é um processo dinâmico e que deve ser revisto a cada nova turma e/ou aula.

Por fim, numa última categoria, entram os desafios da minha própria formação. Nela, estão as diferenças contrastantes entre as aulas que tenho e aquelas que devo preparar para estágios e práticas. Enquanto as primeiras reforçam a parte conteudística e a prática de exercícios focados na matemática, as últimas reforçam a necessidade de interagir com o aluno, conhecer suas concepções prévias e focar nos fenômenos e atividades práticas e contextuais. Juntam-se a esse dilema fatores externos que acabam abalando minhas perspectivas enquanto futuro professor. Eventos como greves de diferentes setores da economia, sem falar nas dos professores; suspensão das atividades por causa da pandemia que assolou o mundo em 2020; e até mesmo aqueles a que estou habituado, mas não conformado, como a falta de água nas escolas e nas cidades, afetam implícita ou explicitamente meu futuro como profissional e trazem sentimentos conflitantes.

Desse modo, esperava-se planejar e ministrar uma aula baseada nas informações obtidas neste trabalho. Seria feita uma aula com estilo *role-playing game* (RPG), com a intenção de os alunos imergirem na história fazendo escolhas, levando algumas destas à realização do experimento, entretanto todo o mundo foi prejudicado em consequência da pandemia de coronavírus em 2020. Escolas e várias instituições pausaram suas atividades, impossibilitando de ser ministrada uma aula nos moldes pretendidos.

Enfim, não é apenas o planejamento da aula que é dinâmico. A vida é dinâmica, difícil de colocar em caixinhas e ser isolada do resto. Se isso acontece na formação de um professor, impossível que não ocorra também ao longo do desenvolvimento da ciência, como bem mostra a história.

Algumas reflexões sobre o processo de imersão didática

Para Brookfield (2017), reflexão crítica, no contexto pedagógico, não pode ser compreendida como uma ferramenta de remediação. Portanto, não serve apenas para avaliar o que deu errado e tentar corrigir o erro. Ela deve compreender uma postura permanente que estrutura de forma contínua a construção da identidade pedagógica ao longo da vida. Nesse sentido, considera-se que é essencial que essa consciência seja explorada desde a formação inicial docente. Ainda segundo o autor, a reflexão crítica ajuda a tomar decisões com base em informações, a desenvolver uma base lógica para a prática, sobreviver à montanha-russa emocional do ensino e evitar a autolaceração. Tal reflexão envolve encarar nossas concepções e certezas sobre o mundo que nos cerca e, no caso específico, aquelas que envolvem o universo simbólico da escola e os sujeitos que a compõem, o que o autor chama de assunções.

As assunções propostas por Brookfield (2017) são de três tipos:

- Paradigmática, aquela que usamos para estruturar o mundo em categorias fundamentais, como, por exemplo, considerar que boas salas de aula são democráticas, que o ensino de física requer prática experimental etc.;
- Prescritiva, envolvendo aquilo que pensamos que deveria acontecer em situações específicas, como o tipo de comportamento que o professor deveria ter ou o que é visto como um bom processo educacional, e geralmente relacionada com as assunções paradigmáticas – por exemplo, em salas de aula democráticas os professores devem estabelecer, juntamente com a turma, os objetivos e projetos a serem desenvolvidos;
- Causal, que traz uma ideia mecânica do contexto pedagógico, apontando como diferentes partes se relacionam e quais as condições para que se modifiquem, como, por exemplo, quando organizamos as cadeiras em círculos e esperamos maior participação da turma por ser esse um formato em que todos os lugares estão igualmente privilegiados.

Vale salientar que as assunções não são necessariamente boas ou ruins. Elas dependem do contexto, e, por isso, seu desvelamento pode contribuir para uma reflexão crítica da realidade vivenciada. Assim, planejar, tendo em mente a necessidade de refletir sobre essas questões, torna o processo formativo mais crítico e pode resultar numa melhor preparação para a prática (BROOKFIELD, 2017).

Com base na concepção de reflexão crítica proposta por Brookfield (2017), e analisando as questões elencadas por Cris em seu diário ao discutir o planejamento e as dificuldades dele decorrentes, observa-se que os três tipos de assunção, enquanto concepções que guiam as ações como professor, estavam presentes. A título de exemplo, listam-se algumas na sequência, seguidas de considerações sobre elas:

"Cada sala de aula é um contexto diferente, cada turma apresenta uma resposta distinta, e no planejamento é preciso prever também as reações desfavoráveis e planos alternativos, caso seja preciso fazer modificações."

Considera-se que nessa afirmação Cris apresenta uma assunção paradigmática que demonstra como ele entende o que deve ser uma sala de aula – nesse caso, um espaço de diversidade e possibilidades:

Pois englobam adaptar linguagem e materiais para outro contexto; assegurar a segurança dos alunos na manipulação dos equipamentos; e desenvolver uma aula que estimule o espírito investigativo e a criticidade dos alunos, ao mesmo tempo em que possibilite superar suas concepções prévias.

Aqui o professor descreve o que deveria compor a aula conforme a abordagem com que estava trabalhando. Esse seria um exemplo de assunção prescritiva. É possível que, ao considerar outras abordagens e, portanto, situações específicas diferentes, ele não apresentasse as mesmas ponderações. Faz-se importante salientar que assunções paradigmáticas podem estar associadas a afirmações como essas de Cris, citadas anteriormente, por exemplo, de que os conhecimentos prévios dos estudantes são pré-requisito para o ensino por investigação.

Juntam-se a esse dilema fatores externos que acabam abalando minhas perspectivas enquanto futuro professor. Eventos como greves de diferentes setores da economia, sem falar nas dos professores; suspensão das atividades por causa da pandemia que assolou o mundo em 2020.

Essa reflexão de Cris, bastante pertinente, mostra sua consciência de que a sala de aula não é um sistema dissociado do mundo nem das questões sociais, políticas e econômicas. Compreende que tais questões afetam sobremaneira aquilo que ele realiza de fato e o que ele acredita que deveria acontecer no exercício de sua profissão. Esse é um exemplo de assunção causal.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo discutir como o processo de planejamento de uma aula com base na abordagem histórico-investigativa pode contribuir para a formação de um futuro professor em relação às questões conceituais, práticas e didáticas, em uma perspectiva crítica.

O relato de Cris em seu diário permitiu acessar, ainda que indiretamente, as dificuldades pelas quais um professor passa ao querer elaborar uma aula com abordagem histórica e experimental. O episódio histórico escolhido consistia em um experimento do século XIX (efeito Seebeck) que o futuro professor buscou reproduzir.

A escolha do episódio foi feita por já possuir uma narrativa histórica existente em português e de amplo acesso. Esse fato foi importante por permitir que Cris tivesse contato com uma discussão mais aprofundada e, assim, evitasse que a história apresentada se restringisse apenas a nomes, datas e fatos.

O registro abordou o desafio maior, que se concentrou na reprodução do experimento histórico relacionado à narrativa, o que se chamou de imersão experimental. Durante a construção do experimento, Cris refletiu sobre diferentes hipóteses, associadas tanto ao conteúdo (termoeletricidade) quanto aos procedimentos. Em grande parte, foi favorecido por sua formação técnica anterior, o que lhe permitiu manipular objetos e instrumentos com facilidade. Por outro lado, esse mesmo conhecimento da técnica por vezes o impediu de visualizar outras formas de abordar o problema, ou mesmo a não atentar-se aos obstáculos existentes ao adotar uma perspectiva anacrônica dos materiais e procedimentos. Além disso, algumas considerações e/ou decisões acabam passando sem o devido registro ou explicação, como quando Cris relata que resolveu utilizar o alumínio, alegando a facilidade de acesso ao material, mas não discute se outros elementos foram ponderados na escolha.

Ao analisar a imersão experimental, puderam-se identificar pelo menos dois tipos de problema derivativo: conceituais, envolvendo conceitos e teorias relacionados à física; e práticos, envolvendo uma vertente material (instrumentos, tipos de material, ferramentas) e outra procedimental (observações, coleta de dados, proposição de hipóteses etc.).

Na segunda parte de seu registro, Cris ressalta que a construção do experimento sempre teve por trás sua intenção didática, ainda que não tenha resultado, efetivamente, num plano de aula, no entanto aborda as dificuldades relativas ao planejamento e elenca importantes questões que rodeiam o trabalho do professor, além daquelas que se apresentam no espaço da sala de aula, mesmo que não tenha realizado a intervenção de fato. Da análise de sua imersão didática, à luz da concepção da reflexão crítica de Brookfield (2017), conseguiu-se identificar os três tipos de assunção no processo reflexivo de Cris. Esse fato levou a concluir que, ao propor e vivenciar um processo investigativo, durante a formação inicial, com intenção de planejamento didático, o futuro professor pôde desenvolver habilidades e reflexões críticas esperadas para compor o perfil de um profissional que tenha a intenção de desenvolver atividades do tipo histórico-investigativo em sala de aula.

Disciplinas pedagógicas como Metodologias para o Ensino de Física e estágios são ambientes propícios para que atividades desse tipo sejam estimuladas e desenvolvidas. Espera-se, assim, que o presente trabalho possa servir como norteador de outras pesquisas que busquem critérios necessários para aprimorar a formação de professores, de maneira especial de licenciandos em Física.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Investigação, Metodologia, Recursos: Pinto JAF, Santos V; **Conceitualização, Curadoria, Análise formal:** Silva APB, Pinto JAF; **Aquisição de financiamento, Administração, Recursos, Supervisão:** Silva APB; **Validação, Visualização:** Pinto JAF; **Escrita – Rascunho:** Pinto JAF, Santos V, Silva APB; **Escrita – Revisão e Edição:** Pinto JAF, Silva APB.

DISPONIBILIDADE DE DADOS

Todos os dados foram gerados ou analisados no presente estudo.

FINANCIAMENTO

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

<https://doi.org/10.13039/501100002322>

Grant No: 88881.172857/2018-01

Universidade Estadual da Paraíba

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos professores Jan Frercks e Peter Heering, da Europa-Universität Flensburg, a ajuda com as fontes originais em alemão e o apoio com os experimentos.

REFERÊNCIAS

BATISTA, R. F. M.; SILVA, C. C. A abordagem histórico-investigativa no ensino de Ciências. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 97-110, 2018. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0008>

- BATISTA, R. F. M.; SILVA, C. C. When things go wrong. **Science & Education**, v. 28, n. 9, p. 1135-1151, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00071-z>
- BROOKFIELD, S. D. **Becoming a critically reflective teacher**. San Francisco: John Wiley & Sons, 2017.
- CANEVA, K. L. From galvanism to electrodynamics: the transformation of German physics and its social context. **Historical Studies in the Physical Sciences**, v. 9, p. 63-159, 1978. <https://doi.org/10.2307/27757377>
- CANEVA, K. L. Physics and naturphilosophie: a reconnaissance. **History of Science**, v. 35, n. 1, p. 35-106, 1997. <https://doi.org/10.1177/007327539703500102>
- CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- CHANG, H. How historical experiments can improve scientific knowledge and science education: the cases of boiling water and electrochemistry. **Science & Education**, v. 20, p. 317-341, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9301-8>
- FERREIRA, É. J. B.; SILVA, A. P. B. Termomagnetismo ou termoeletricidade? Um estudo do trabalho de Thomas Johan Seebeck. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, p. 861-878, 2016. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p861>
- HEERING, P.; HÖTTECKE, D. Historical-investigative approaches in science teaching. In: MATTHEWS, M. R. (Org.). **International handbook of research in history, philosophy and science teaching**. Dordrecht: Springer, 2014. p. 1473-1502. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_46
- HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: an analysis of obstacles. **Science & Education**, v. 20, p. 293-316, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9285-4>
- JARDIM, W. T.; GUERRA, A. Experimentos históricos e o ensino de física: agregando reflexões a partir da revisão bibliográfica da área e da história cultural da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, n. 3, p. 244-263, 2017. <http://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2017v22n3p244>
- PESTRE, D. La pratique de reconstitution des experiences historiques, une toute première réflexion. In: BLONDEL, C.; DÖRRIES, M. (Org.). **Restaging Coulomb: usages, controverses et répliques autor de la balance de torsion**. Firenze: Leo S Olshki, 1994. p. 17-30.
- PETERS, E. Reforming cookbook labs. **Science Scope**, v. 29, n. 3, p. 16-21, 2005.
- PINTO, J. A. F.; SILVA, A. P. B.; FERREIRA, É. J. B. Laboratório desafiador e história da ciência: um relato de experiência com o experimento de Oersted. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 176-196, 2017. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n1p176>
- SEEBECK, T. J. Über den magnetismus der galvanischen kette. In: SEEBECK, T. J. (Org.). **Abhandlungen der physikalischen Klasse der Königlich-Preussischen**. Berlin: Akademie der Wissenschaften aus den Jahren 1820-1821, 1822. p. 289-346.
- SEEBECK, T. J. Magnetische polarisation der metalle und erze durch temperatur-differenz. In: SEEBECK, T. J. (Org.). **Abhandlungen der physikalischen Klasse der Königlich-Preussischen**. Berlin: Akademie der Wissenschaften aus den Jahren 1822-1823, 1825. p. 265-373.
- SEEBECK, T. J. Magnetische polarisation der metalle und erze durch temperatur-differenz (1822-1823). In: **Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften**. Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1895. No. 70.
- SILVA, A. P. B. Distorções científicas perenes e suas consequências para o ensino de ciências: a relação entre eletricidade, magnetismo e calor. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 4, e20180311, 2019a. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0311>
- SILVA, A. P. B. Magnetismo e condução de calor no trabalho de Seebeck: desafios da ciência experimental. In: SILVA, A. P. B.; MOURA, B. A. (Org.). **Objetivos humanísticos, conteúdos científicos: contribuições da história e da filosofia da ciência para o ensino de ciências**. Campina Grande: EDUEPB, 2019b. v. 1. p. 53-88. <http://doi.org/10.7476/9786586221664>

SILVA, A. P. B.; SILVA, J. A. A influência da *naturphilosophie* nas ciências do século XIX: eletromagnetismo e energia. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 24, n. 3, p. 687-705, 2017. <https://doi.org/10.1590/S0104-59702017000300008>

VICENTE, S. A.; PINTO, J. A. F.; SILVA, A. P. B. História da ciência, experimentação e vídeos: introdução ao conteúdo de circuitos elétricos. **Revista Encitec**, v. 10, n. 2, p. 151-165, 2020. <http://doi.org/10.31512/encitec.v10i2.2722>

ZABALA, A. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: Penso, 2015.