

O “EXPERIMENTO CRUCIAL” DAS CORES DE NEWTON E ALGUMAS CONTRIBUIÇÕES NO PROCESSO DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE FÍSICA

Nicholas Raphael de Barros¹, Charles Pena Saraiva², Winston Gomes Schmiedecke³

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, nicholas_raphaelbarros@hotmail.com

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, charlespenasaraiva1@gmail.com

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, winston.fisica@gmail.com

Resumo

Norteadas pelo estudo sistemático de documentos históricos, tentativas de reconstrução de aparatos científicos em situações didáticas são iniciativas que apresentam significativo potencial no processo de formação de professores capazes de compreender aspectos fundamentais da natureza dos trabalhos desenvolvidos em ciência: métodos e processos, vulnerabilidade às tendências de época, circunscrição espaço-temporal dos resultados obtidos, superposição de diferentes níveis de continuidade e rupturas etc. Neste trabalho discutimos a importância de duas estratégias didático-pedagógicas no Ensino de Física – a Experimentação e a História da Ciência –, com base na proposição de uma atividade visando correlacionar essas áreas de estudo e evidenciar algumas possibilidades de interlocução. O trabalho explora a reconstrução do experimentum crucis de Newton, realizado originalmente no século XVII com o intuito de corroborar com suas hipóteses a respeito da natureza da luz. Para tanto, são elencados detalhes dos procedimentos e apresentadas as dificuldades e hipóteses consideradas durante a construção do aparato, incluindo os principais resultados obtidos e algumas possíveis implicações. Por fim, são destacadas as aludidas potencialidades que atividades desse cunho parecem oferecer no âmbito nos cursos de formação de professores de física.

Palavras-chave: história da ciência, formação de professores, reconstrução de experimentos históricos, experimento das cores de Newton.

Abstract

Based on the systematic study of historical documents, attempts to reconstruct scientific apparatus in didactic situations are initiatives that present significant potential in the process of teacher training capable of understanding fundamental aspects of the nature of the works developed in science: methods and processes, vulnerability to the tendencies of Time, space-time circumscription of the results obtained, superposition of different levels of continuity and ruptures etc. In this work, we discuss the importance of two didactic-pedagogical strategies in Physics Teaching - Experimentation and the History of Science, based on the proposition of an activity aimed at correlating these areas of study and show some possibilities of interlocution. The work explores the reconstruction of the Newton experimentum crucis, originally performed in the seventeenth century in order to corroborate its hypotheses about the nature of light. For that, details of the procedures are listed and the difficulties and hypotheses considered during the construction of the apparatus, including the main results obtained and some possible implications, are presented. Finally, the aforementioned potentialities that activities of this kind seem to offer within the scope of the training courses for physics teachers are highlighted.

Key Words: history of science, teacher training, reconstruction of historical experiments, experiment of Newton's colors.

Introdução

A inserção da História da Ciência nos currículos de cursos de formação de professores e no Ensino básico não é algo novo, refletindo a importância de um ensino em ciências capaz de transcender a apresentação acrítica dos conhecimentos científicos, de modo a contemplar detalhes essenciais (influências do contexto sócio-histórico-cultural, controvérsias, percalços etc.) no processo de construção de tais conhecimentos.

Visando à promoção de uma educação científica voltada a formar cidadãos críticos e protagonistas das principais decisões relacionadas ao destino dos constructos da Ciência, os diversos documentos oficiais que regem o ensino no Brasil têm, há tempos, enfatizado a importância da História da Ciência enquanto campo do conhecimento e, em especial, recurso didático a ser utilizado pelos docentes de disciplinas científicas.

Apenas a título de exemplo, no que se refere especificamente à Física, há uma competência geral – denominada “Ciência e Tecnologia na História” –, nas

Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+: Física) que enfatiza a importância de se oferecer aos alunos efetivas condições para que possam “compreender a construção do conhecimento físico como um **processo histórico**, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época” (BRASIL, 2002, p.14. Grifo nosso).

A História da Ciência como ferramenta que permite a aproximação do estudante do meio científico é um recurso que o ensino tradicional de ciências não leva em consideração. Por apresentar uma ciência pronta, essa vertente tende a inibir o processo criativo do aluno e, progressivamente, faz com que ele se desinteresse por seguir os passos de “grandes gênios”, devido apoiar-se em uma tradição que valoriza somente aos resultados científicos que corroboram as teorias do paradigma atual, sendo ainda veiculada em alguns livros didáticos dos mais diversos níveis, prática que tende a alimentar as caricaturas da ciência e dos cientistas (Carneiro e Oliveira, 2011, p.11).

Nesse sentido, defendemos o estudo mais pormenorizado de episódios históricos no processo de formação dos

professores de Física, de forma a oferecer-lhes pré-requisitos básicos para, em suas futuras aulas, proporem e sustentarem discussões sobre como a ciência constituiu-se historicamente.

O presente trabalho procura reforçar o potencial didático das prescrições e iniciativas comprometidas com a sinergia entre a Experimentação e a História e a Filosofia da Ciência nas aulas de ciências (Cavicchi, 2003 e 2008; Heering e Wittje, 2011; Silva, 2013; dentre outros), levando em consideração, obviamente, as inerentes limitações temporais e espaciais associadas a tais ações.

A Experimentação no Ensino de Ciências – e, mais especificamente, no Ensino de Física – é uma prática que, dentre outros méritos, tem o papel de motivar, encorajar e dar suporte no processo de aprendizagem dos estudantes, levando-os a questionar suas pré-concepções a respeito da Natureza e suas leis, viabilizando a compreensão de conceitos científicos (Heering e Wittje, 2011).

O protagonismo proporcionado pela Experimentação quanto à metodologia científica – e suas diversas nuances – torna-a uma importante

ferramenta para o docente de cursos das chamadas Ciências da Natureza; todavia, alguns estudos destacam que a inserção compulsória dessa prática nos currículos não remete a um sucesso automático (Hofstein e Lunetta, 2004; Tesch, 2005). Portanto, muito além de sua presença, deve-se discutir a forma de se utilizá-la.

Em sintonia com os interesses de seus propositores, muitas e diversas são as abordagens a serem efetuadas; por exemplo, pode-se trabalhar sob a égide de uma metodologia que suprime a discussão, obrigando os alunos a simplesmente aceitarem as “verdades reveladas” pelo experimento ou, no outro extremo, promover junto ao aluno a compreensão dos procedimentos e técnicas da ciência (criar hipóteses, confrontar prescrições teóricas, verificar a validade e os limites de leis e exercitar a linguagem natural, matemática ou simbólica) (Séré e Coelho, 2002).

Sob essa ótica, deve-se esperar que a reconstrução de experimentos históricos encontre na literatura especializada diversas possibilidades de apropriação, indo, por exemplo, desde Gainer (1981) – que defende a reconstrução de aparatos com o intuito de fornecer aos estudantes a possibilidade de avaliar as limitações das observações à

época do desenvolvimento da teoria –, até Anderson (1992), que advoga pelo uso de registros de patentes de antigos aparelhos experimentais, de modo a utilizá-los como instrumentos pedagógicos.

No que se refere à fidelidade das reconstruções efetuadas, após realizarem uma minuciosa revisão bibliográfica, Medeiros e Monteiro (2001) identificaram duas tendências principais: a primeira delas refere-se à proposta de um grupo de pesquisadores da Universidade de Oldenburg (Alemanha), defendendo a reconstrução *ipis leteris* dos experimentos para os cursos de formação de professores (Heering, 1999); já a segunda, proposta pelo grupo da Bakken Library and Science Museum, de Minesota (EUA), advoga pela reconstrução de experimentos não em detalhes, mas contendo os fundamentos do original, sendo que o essencial seria o potencial problematizador do aparato (Kpinis, 1995).

A proposta aqui apresentada alinha-se com o que prevê a segunda dessas tendências, pois, a partir do uso de materiais de baixo custo e fácil acesso, procurou-se reconstruir o aparato utilizado por Isaac Newton (1642 – 1727) em seu *Experimentum Crucis*, e que teria um papel central no estabelecimento de teorias a respeito dos fenômenos óticos

descritos na obra *Óptica*, publicada em 1704.

De forma particular, descrevemos aqui os procedimentos e principais resultados obtidos com a reconstrução do conhecido experimento de dispersão da luz realizado por Newton na segunda metade do século XVII, ocorrido no contexto de uma disciplina de oficina de projetos de um curso regular de formação de professores de Física. Nesse processo, baseamos nossas ações na leitura da tradução brasileira do artigo de Newton publicado em 1672 na *Philosophical Transactions of the Royal Society*, contida em Silva e Martins (1996).

A despeito de se tentar corroborar os resultados tradicionalmente associados a esse importante acontecimento da história da ciência, buscamos lançar luz sobre algumas (re)leituras e desdobramentos efetuados a partir da tentativa de reprodução de um experimento de notório valor na história da Física.

O “Experimento Crucial” de Newton

Conforme Isaac Newton reconheceu, em seu primeiro artigo a respeito da dispersão da luz branca publicado na *Philosophical Transactions of*

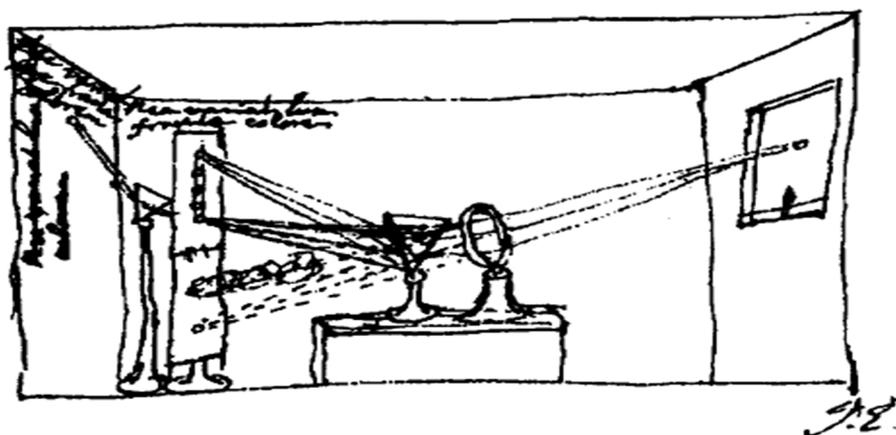
the Royal Society (Newton, 1672 *apud* Silva & Martins, 2016), ele não foi o primeiro a observar o efeito, que já era conhecido como o “Fenômeno das Cores”. René Descartes (1637), Robert Boyle (1664), Francisco Grimaldi (1665) e Robert Hooke (1665) – por exemplo – já haviam realizado experimentos e, mesmo que não tenham se aprofundado em termos geométricos e matemáticos, já possuíam suas próprias interpretações (Silva & Martins, 1996). Portanto, como era de se esperar Newton era um homem da sua época atuando influenciado por resultados e demandas da sociedade em que se encontrava inserido, não movido

unicamente pela curiosidade que apenas as aludidas “mentes iluminadas” possuiriam.

O experimento de dispersão de Newton está imerso em pseudo-histórias: o que se encontra normalmente em livros didáticos se estende desde mitos a respeito de qual seria o aparato utilizado, até comentários que levam a crer haver apenas uma interpretação lógica para os resultados (Carneiro & Oliveira, 2011).

O experimento em questão é um aparato detalhado na publicação de 1672; a Figura 01 ilustra uma possível montagem realizada na ocasião:

Figura 01: *Esquema de Newton de uma das variantes do experimentum crucis³².*



Nesse esquema, Newton utiliza dois prismas, uma lente e duas pranchas, nas quais é projetada a luz; porém, na montagem apresentada no artigo de 1672, não há suporte para o primeiro prisma,

pois o próprio Newton o segura, e não há lente para colimar o feixe de luz branca em direção ao primeiro prisma. A montagem, portanto, é mais simples: há um furo na janela pelo qual passa um feixe de luz do

³² Extraído de Silva e Martins (1996, p. 318).

sol; este atravessa o primeiro prisma – segundo um ângulo chamado de “desvio mínimo” –, que dispersa a luz e projeta uma forma oblonga e colorida na primeira prancha; por fim, um furo na prancha seleciona um raio de luz de uma cor específica, direcionando-o, assim, para o segundo prisma atrás da primeira prancha.

Esse experimento foi motivado por vários outros realizados anteriormente, utilizados para se compreender a influência dos prismas, do tamanho do furo e do tamanho da forma projetada. Newton usou o rigor da Geometria para verificar suas suposições: cores diferentes de luz possuem diferentes índices de refração e as diferentes cores são constituintes da luz branca. Apesar de adjetivar o experimento de “crucial”, Newton realizou outra montagem em que, com uma lente convergente, reuniu em uma prancha os raios de luz dispersados por um prisma. Este terceiro experimento deixa latente o fato de que o *experimentum crucis*, por si só, não foi suficiente para sustentar a afirmação de que a luz branca seria formada pelo conjunto de cores que constituem o espectro visível (Silva & Martins, 1996).

A primeira conclusão, de que raios de diferentes cores são diferentemente refrangíveis, não causou tanto alarde na

comunidade científica; porém, sua segunda afirmação, de que as cores constituíam a luz de cor branca, foi fortemente criticada por seus contemporâneos, levando Newton a construir posteriormente outros experimentos e, inclusive, a utilizar-se de argumentos que transcendiam a experimentação, como a Navalha de Occam (Silva e Martins, 1996).

Por fim, constata-se que a popularização da ótica newtoniana ocorreu não somente em decorrência de uma criteriosa metodologia de trabalho. No caso, o prestígio de Newton enquanto filósofo natural e homem público contribuiu decisivamente para que as características problemáticas de suas teorias e aparentes concepções alternativas fossem praticamente ignoradas pelos estudiosos ao longo do século XVIII (Silva e Moura, 2007).

Descrição do trabalho desenvolvido

A motivação inicial das ações aqui descritas surgiu no contexto de uma disciplina de estágio intitulada de “Oficina de Projetos de Ensino 1”, ministrada no curso de licenciatura em Física de uma instituição pública de ensino do Estado de São Paulo. O principal objetivo da disciplina concentrava-se em oferecer aos

futuros professores a possibilidade de se apropriarem de critérios e características próprias da História da Ciência e da Experimentação em suas futuras ações enquanto docentes de Física. Colocados em face à riqueza dos materiais teóricos, um grupo de alunos fez opção pela tentativa de reconstrução do mencionado experimento.

Com base na tendência teórica já explicitada, foram necessárias algumas modificações para tornar o experimento viável, mas preservando-se sua essência. A primeira modificação foi a fonte de luz: utilizou-se uma lâmpada incandescente (110V – 200W). A escolha entre a lâmpada incandescente ou fluorescente baseou-se no conhecimento atual de que a segunda gera um espectro discreto, enquanto a primeira, apesar de não possuir a mesma curva de radiação de corpo negro que o sol, gera um espectro contínuo de luz. A segunda modificação principal foi em relação ao material que constituía os prismas: à época de Newton, o vidro era utilizado para tal; atualmente, o acrílico é mais acessível e possui refringência muito próxima à do vidro. Abaixo há uma lista sucinta dos materiais utilizados:

- Dois prismas de acrílico, com faces laterais quadradas com arestas de 6cm;
- Duas folhas de papel cartão;
- Caixa de papelão para sapatos;
- Dois canos de PVC $\frac{3}{4}$ ", com comprimentos de 120cm e 20cm;
- Um cano de PVC $\frac{1}{2}$ ", com comprimento de 80cm;
- Dois Potes cilíndricos de papelão, com diâmetro de 7,5cm e altura de 7,5cm;
- Duas chapas de madeira, com dimensões de 160 x 100 x 2,00cm;
- Duas tampas de recipientes plásticos, com diâmetro de 20cm; e
- Uma lâmpada incandescente (110V – 200W).

Primeiramente, montamos dois prismas nas embalagens cilíndricas, recortadas de forma que duas de suas faces ficassem visíveis; fixamos, com cola quente, uma das embalagens na extremidade do cano de $\frac{3}{4}$ " e, a outra, no cano de $\frac{1}{2}$ ". Com ferramentas apropriadas, realizamos um furo com o diâmetro de $\frac{3}{4}$ " em cada uma das duas tampas plásticas, onde seriam encaixadas as extremidades livres do cano de PVC. As tampas,

portanto, serviram de bases para os suportes dos prismas.

A caixa de papelão foi cortada de maneira que, em seu fundo, fosse possível encaixar um bocal de lâmpada com fios a serem conectados à tomada. O interior da caixa foi pintado de preto para minimizar as reflexões. Na frente da caixa foi feito um furo de diâmetro próximo ao do cano de PVC, através do qual o cano de menor comprimento foi inserido e fixado com fita isolante. Esse tubo, também pintado de preto em seu interior, teria a função de colimar o feixe de luz, pois, como a lâmpada estava próxima, não gerava raios paralelos, tais quais os que chegam à Terra advindos do Sol, devido à grande distância relativa que separa esses astros.

Foram colocadas duas barras de madeira em um dos comprimentos menores das duas chapas para mantê-las firmemente em pé. Realizamos um corte de aproximadamente 80 x 80cm em cada uma das chapas, como uma janela, deixando um espaçamento de, aproximadamente, 30cm acima e 50cm abaixo da altura do prisma. Nesses espaços foram fixadas as folhas de papel cartão.

A caixa de papelão foi colocada no chão em um ângulo de 45° com a

superfície e a distância foi regulada com a finalidade de atingir o prisma em seu ângulo de mínimo desvio; também regulamos o prisma de forma que a face receptora do feixe permanecesse perpendicular ao solo.

O suporte do segundo prisma necessitou de um regulador de altura para captar a cor que passaria pelo furo do primeiro papel cartão. Por isso, encurtamos o cano de $\frac{3}{4}$ " e inserimos em uma de suas extremidades livres o cano de $\frac{1}{2}$ ", no qual estava fixado o segundo prisma. Colocamos as tampas de plástico nos canos de $\frac{3}{4}$ " e, no segundo suporte, fizemos vários furos no tubo de maior diâmetro, que seriam trespassados por um parafuso destinado a manter o prisma travado em uma altura específica.

Com todas essas partes construídas, realizamos a montagem final do experimento: primeiramente, escurecemos o ambiente, miramos o feixe de luz provindo da lâmpada no primeiro prisma. O prisma, então, projetou a forma oblonga colorida na primeira folha de papel cartão. Nesta folha realizamos um furo no local atingido pela cor verde, a fim de direcioná-lo para o segundo prisma. Regulamos o objeto para captar o feixe monocromático, que por sua vez o

projetaria, por fim, na segunda folha de papel cartão.

Apresentamos a seguir um breve relato abrangendo os principais resultados obtidos e as discussões motivadas pela análise do processo de reconstrução do experimento em referência.

Resultados obtidos

O formato da figura projetada pelo primeiro prisma foi próximo ao descrito por Newton (uma forma oblonga), como a secção de um cone. As cores mais nítidas foram as próximas do vermelho e do verde; por esse motivo, realizamos um furo primeiramente no local de cor verde e regulamos o segundo prisma para captá-la em seu ângulo de desvio mínimo. Como esperado, a cor projetada na segunda prancha não se diferenciava perceptivelmente da cor selecionada com o furo realizado na primeira prancha. Neste caso, o experimento mostrou sua utilidade em apoiar a argumentação de Newton, no que diz respeito ao prisma não modificar a cor da luz que a atravessa.

A montagem realizada não permitiu, assim como a de Newton, verificar quantitativamente o índice de refração específico para cada cor; todavia, a partir do pressuposto de que o prisma

não realiza uma mudança em termos de cor nos feixes que a atravessam, foi possível concluir que cada cor possui uma refrangibilidade diferente.

No que se refere à conclusão mais comumente atribuída a esse experimento – de que a luz branca é uma mistura das outras cores do espectro visível – nosso aparato, assim como ocorreu com o próprio Newton, não nos ofereceu alicerces seguros suficientes para corroborá-la. Concluímos que esse fato deve ter sido determinante para motivar Newton a construir, posteriormente, o experimento no qual reunia as cores utilizando-se de uma lente.

A construção foi apresentada aos colegas da disciplina e gerou discussões pertinentes a respeito da dinâmica da atividade científica, dentre as quais merece destaque o papel dos pressupostos que motivam – e guiam – o cientista na construção de um experimento. Neste caso, tornou-se evidente que colocar o segundo prisma era uma tentativa de “provar” que todas as cores juntas formavam a luz branca. Portanto, o cientista carrega, de fato, influências e motivações ao realizar seus experimentos, transcendendo o papel de um observador desprovido de valores e expectativas prévias.

O segundo tema motivado pela apresentação, complementar ao comentado no parágrafo anterior, recaiu sobre a dificuldade dos futuros docentes de abandonar os conhecimentos atuais no momento de tentarem compreender os documentos históricos em que se encontram descritos os detalhes das montagens estudadas. O exercício de leitura e a tentativa de (re)interpretá-la permitiram-nos constatar que os cientistas não são, necessariamente, pessoas que estão à frente do seu tempo, como o senso comum parece afirmar.

Por fim, as dificuldades encontradas na tentativa de reconstituição do experimento – mais particularmente as relacionadas ao controle das condições de luminosidade do recinto utilizado –, revelam a possibilidade de Newton ter sido auxiliado durante a realização do experimento, evidenciando que a Ciência é uma prática predominantemente coletiva. Portanto, raros são os resultados em Ciência decorrentes do trabalho de personalidades atuando só e isoladamente.

Considerações Finais

A utilização de experimentos históricos na formação de professores de Física intersecciona duas esferas que

favorecem a compreensão de aspectos importantes da natureza da atividade científica: a História da Ciência e a Experimentação.

O experimento reproduzido permitiu aos professores em formação o contato direto com documentos de relevante importância histórica, exigindo em sua realização o despreendimento de pré-conceitos e permitindo o reconhecimento de que a Natureza não fala por si e, em especial, que a ciência é uma criação do intelecto humano, circunscrita por condições sócio-históricoculturais.

Reconhecemos a importância de disciplinas em cursos de formação de professores que motivem a leitura de textos históricos descrevendo teorias e experimentos, textos estes que podem ser trabalhados em todos os níveis de uma graduação, de maneira que a historicidade promovida não se resuma a breves excertos e boxes repletos de informações vagas e/ou vazias.

Nesse sentido, consideramos muito relevante no processo de formação dos futuros docentes de Física a tentativa de reconstrução de experimentos históricos segundo o relato oferecido neste trabalho, para que esses sujeitos possam

experimental métodos, adaptar materiais, reconhecer dificuldades e comparar resultados, com o intuito de desmistificar a suposta genialidade dos homens e mulheres da ciência e devolver-lhes seus atributos principais: a persistência e a criatividade.

Por fim, os autores acreditam que, seguindo a tendência de Kpinis (1995), é possível não só formar professores mais criteriosos com os textos e experimentos que selecionam para dar suporte às suas aulas, mas que também é desejável motivar os estudantes a realizarem leituras de referências primárias e concretizarem a elaboração de experimentos históricos.

Referências

- ANDERSON, N. **Hidden Treasures for Science Teaching**: United States Patents. Teaching Guides for Teachers, North Carolina University, 1992.
- BRASIL. PCN+ **Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 2002.
- CARNEIRO, M. F. D.; OLIVEIRA, L. M. L. P. A abordagem histórica do experimento da dispersão da luz branca em livros didáticos. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Campinas, 2011. **Atas...**
- CAVICCHI, E. Experiences with the Magnetism of Conducting Loops: Historical Instruments, Experimental Replications, and Productive Confusions. **American Journal of Physics**, v. 71, p. 156-167, 2003.
- CAVICCHI, E. Historical Experiments in Students' Hands: Unfragmenting Science through Action and History. **Science & Education**, v. 17, p. 717-749, 2008.
- GAINER, M. Construction of a 17th Century Telescope: An Experiment in the History of Astronomy. **Physics Teacher**, v. 19, n1. , 1981.
- HEERING, P.; WITTJE, R. An historical perspective on instruments and experiences in science education. **Science & Education**, v. 21, p. 151-155, 2011.
- HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N.. The laboratory in science education: Foundations for the Twenty First Century. **Sci. Education** , v. 88, n. 1, p. 28–54, 2004.
- KIPNIS, N. From the Danube to the North Sea. **Rediscovering Science Newsletter**, v. 3, n. 1, 1995.
- MEDEIROS, A.; MONTEIRO JÚNIOR, F. N. Reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino de Física. In: III Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, v. 3, 2001. **Atas...**
- PRATHER, J. Analysis of the Educational Implications of the Concept of Scientific Revolutions. **60th Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching**. Washington-DC, 1987.

SÉRÉ, M-G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, p. 31-43, 2004.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A “Nova Teoria sobre Luz e Cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada.

Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 18, n. 4, p. 313-27, 1996.

SILVA, G. R. História da Ciência e experimentação: perspectivas de uma abordagem para os anos iniciais do Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 6, p. 121-132, 2013.