

EXPERIMENTO CRUCIAL NA CIÊNCIA E NA FILOSOFIA DA CIÊNCIA: UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA SOBRE A TEORIA DA LUZ E CORES DE NEWTON

(Crucial experiment in science and the philosophy of science: a potentially meaningful teaching unit on the newton's light and colors theory)

Anabel Cardoso Raicik [anabelraicik@gmail.com]

Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

Resumo

Os estudos sobre a luz e cores de Isaac Newton são extremamente relevantes e analisados na literatura. No século XVIII, em que a experimentação ocupa uma posição de destaque na estruturação de conhecimentos, a utilização newtoniana do termo *experimentum crucis*, por certo, emprega um poder de legitimação, confiabilidade e persuasão. Mas o que, exatamente, se pode entender por um experimento crucial? Este artigo apresenta a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) “O ‘mito’ do experimento crucial: Newton e a teoria da luz e cores”, que objetiva discutir, entre alunos de física em formação, que a ideia de um experimento crucial que, *per se*, de forma definitiva e inequívoca, permite decidir ‘instantaneamente’ entre teorias ou concepções rivais, é um mito.

Palavras-chave: unidade de ensino potencialmente significativa; experimento crucial; Isaac Newton.

Abstract

Isaac Newton's studies of light and colors are extremely relevant and analyzed in the literature. In the 18th century, when experimentation occupies a prominent position in the structuring of knowledge, the Newtonian use of the term *experimentum crucis*, certainly, employs a power of legitimation, reliability and persuasion. But what, exactly, can be understood by a crucial experiment? This article presents the Potentially Significant Teaching Unit (UEPS) “The ‘myth’ of the crucial experiment: Newton and the theory of light and colors”, which aims to discuss, among physics students in training, that the idea of a crucial experiment that, *per se*, in a definitive and unequivocal way, allows to decide ‘instantly’ between rival theories or conceptions, is a myth..

Keywords: potentially meaningful teaching unit; crucial experiment; Isaac Newton.

Introdução

Na primeira metade do século XVII, os estudiosos estavam sob influência de novos pensamentos sobre a maneira de buscar conhecimento e entender a natureza, que questionavam a concepção aristotélica, hegemonicamente aceita por séculos. Nessa época, nas universidades, a filosofia escolástica continuava a ser ensinada, e quem a ela viesse a se opor, encontrava, ainda,

resistências. Contudo, isso não impediu que alguns insatisfeitos tomassem iniciativas e se destacassem, fundando, por exemplo, sociedades científicas.

A Academia dos Linceus, a primeira das sociedades, foi fundada em 1603 na Itália. Na Inglaterra, a Royal Society foi criada 57 anos depois, enquanto a *Académie Royale des Sciences* francesa, emergiu em 1666 (Bernal, 1964). Essas instituições atentavam não apenas para os conhecimentos decorrentes da época, mas aos métodos da ciência, seus objetivos e sua forma de legitimação (Peduzzi, 2015). Cabe ressaltar que, antes da fundação dessas sociedades, essas preocupações já afloravam entre aqueles que buscavam novas formas de compreender a natureza e seus processos. O século XVII é, portanto, um marco nesse sentido, onde, entre outros, René Descartes, Francis Bacon, Galileu Galilei, Robert Boyle, Christiaan Huygens e Isaac Newton, foram expoentes significativos.

Bacon, em 1620, publica o *Novum Organum*, obra que vai disseminar a concepção empirista e ajudar a instituir uma filosofia que reinará, de maneira ampla e geral, por muito tempo na comunidade científica. Ele é considerado o primeiro filósofo experimental (Hacking, 2012) que implanta a necessidade de uma sequência de procedimentos seguros que permitem descobrir efeitos naturais, por meio de um método indutivista. Reconhecidamente, Bacon influenciou a fundação da Royal Society e, inclusive, os estudos ópticos newtonianos (Bernal, 1964; Fulton, 1932; Raicik; Peduzzi & Angotti, 2017a).

Em seu famoso artigo “Nova teoria sobre luz e cores” (Newton, 1672), amplamente analisado na literatura (Cohen & Westfall, 2002; Granés, 2001; 2005; Peduzzi, 2015; Silva & Martins, 1996; 2003), Newton explica a forma oblonga da luz projetada em uma parede depois de ser refratada por um prisma. Após eliminar distintas hipóteses como causadoras do alongamento, em um processo dinâmico entre uma série de experimentações e seus constructos teóricos, ele chega a um experimento que denomina de “crucial”.

Esse experimento consistia de uma lente à frente de um prisma, pela qual passava a luz solar. A lente possibilitava produzir um espectro fino e com cores bem definidas em um anteparo. Um furo no anteparo permitia que uma pequena faixa do espectro passasse por um segundo prisma, que não decompunha a luz em novas cores, apenas produzia uma mancha da cor selecionada.

Na “Óptica” (Newton, 2002), publicada em 1704, fica mais evidente a dependência do experimento crucial com outros para mostrar, de forma concludente, que cada raio que produz uma cor está associado a um grau específico de refração e vice-versa (Assis, 2002).

Com efeito, Newton parece ter utilizado a expressão “experimento crucial” por influência de Robert Hooke, que o usa na obra *Micrographia* inspirado no *Novum Organum* de Bacon (Bacon, 1979). Todavia, Bacon emprega o termo *instantie crucis*. Provavelmente, como apontam Silva e Martins (1996), Hooke teria escrito de memória substituindo, equivocadamente, *instantie* por *experimentum*. De acordo com Loup Verlet, Newton recorreu ao termo com apelo retórico, ou o redigiu para conferir maior credibilidade em uma cultura que primava pelo apelo experimental (Granés, 2001). Algumas passagens de suas obras podem indicar, contudo, que ele denominou um de seus experimentos de crucial com Descartes e Hooke em sua mente (Westfall, 1962).

O certo é que este episódio histórico envolvendo Newton suscita a questão do que vem a ser um experimento crucial. A sua existência e o seu significado são questões que não reúnem consenso na ciência e na filosofia da ciência. Pierre Duhem, Karl Popper e Imre Lakatos, por exemplo, apresentam posicionamentos antagônicos entre si e, inclusive, em relação à ideia de *instantia crucis* baconiana (Raicik, Peduzzi & Angotti, 2017b). Duhem, físico, historiador e filósofo da ciência vai argumentar que não é possível admitir a existência de experimentos cruciais. O filósofo da ciência

Popper, por sua vez, defende que eles existem e servem para refutar enunciados básicos de uma teoria. Já para o físico, matemático e filósofo Lakatos, um experimento com esse *status* só poderia ser admitido em retrospectiva.

No ensino de ciências, de modo geral, ainda persiste a ideia de que *um* experimento, considerado crucial, pode fazer com que uma hipótese seja rejeitada e outra aceita com base somente na evidência empírica produzida (Carmo; Medeiros & Medeiros, 2000; Cupani & Pietrocola, 2002; Hodson, 1988; Schmiedecke & Porto, 2015; Silva, 2010) Aliás, muitos materiais didáticos apresentam o experimento crucial de Newton como suficiente para se concluir que a luz solar é heterogênea (Silva & Martins, 2003). Todavia, à época, não era possível argumentar isso somente a partir dele, pois existiam outras explicações possíveis e coerentes. A luz branca poderia ser de alguma forma transformada, ou poderia se aferir que o prisma criava as cores. Efetivamente, a ideia de um experimento crucial “que, *per se*, de forma definitiva e inequívoca, permite decidir ‘instantaneamente’ entre teorias ou concepções rivais, é um mito. É bastante complexa a dinâmica entre hipótese, teoria e experimentação na ciência” (Peduzzi & Raicik, 2017, p. 36).

Nesse sentido, apresenta-se a seguir uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) – “O ‘mito’ do experimento crucial: Newton e a teoria da luz e cores” – com o intuito de discutir a noção de experimento crucial, a partir dos estudos newtonianos, entre alunos de física em formação, bem como algumas reflexões sobre a sua relevância para o ensino de física. Espera-se com isso fomentar reflexões e assimilações *sobre* (e *de*) ciência entre esses estudantes.

Pensando a sala de aula: Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são sequências didáticas, sugeridas por Moreira (2011), fundamentadas teoricamente, sobretudo, na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, que podem estimular intervenções didáticas em sala de aula. Elas têm como objetivo facilitar a aprendizagem significativa de tópicos, ideias, conceitos específicos, a partir do cerne filosófico de que só há ensino quando há aprendizagem, e esta aprendizagem, imprescindivelmente, deve ser significativa.

Os princípios que norteiam a constituição dessas unidades são diversos e levam em consideração, sobretudo, a relação triádica: aluno, professor e material instrucional. Nessa perspectiva, é importante que no desenvolvimento de uma UEPS, conforme Moreira: i) se leve em conta o conhecimento prévio do estudante; ii) se aceite que pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no aluno e que é ele quem decide se quer ou não aprender de forma significativa, ou seja, o aluno precisa estar predisposto a aprender; iii) se utilize, quando necessário, organizadores prévios a fim de servirem de ponte entre o que o sujeito já sabe e o que ele deveria saber para que o novo conhecimento possa ser aprendido de forma significativa; iv) se reconheça que as situações-problema dão sentido aos novos conhecimentos, podem servir de organizadores prévios e devem ser introduzidas em nível crescente de complexidade; v) se considere, na organização de ensino, a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação; vi) se conceba a avaliação da aprendizagem significativa em termos de evidências; vii) se assuma que o professor tem um papel essencial na sistematização de situações-problema, mediador da captação de significados pelo aluno; viii) se concorde que o ensino deve ser dialógico; ix) se parta do pressuposto de que a aprendizagem não deve ser mecânica; x) se admita que a aprendizagem significativa é estimulada pela busca de respostas e questionamentos e não na memorização de respostas conhecidas.

Moreira (2011) apresenta passos sequenciais para a elaboração das UEPS que facilitam um melhor proveito dos princípios norteadores supracitados. Não obstante, cabe ao professor adaptar cada UEPS ao seu contexto, sem menosprezar, é claro, as concepções primordiais que as orientam.

A UEPS apresentada a seguir objetiva promover, entre licenciandos e bacharelados em física, reflexões conceituais e epistemológicas em torno da experimentação, mais especificamente, à ideia de experimentação crucial. Como a literatura aponta há décadas, uma formação histórico-filosófica não pode ser prerrogativa apenas do futuro professor; faz-se necessário pensar em estratégias que propiciem também aos bacharelados um senso crítico em torno da ciência e sua prática. Não obstante, e levando-se em conta a própria concepção teórica das UEPS – de que os materiais e estratégias de ensino podem ser diversificados e adaptados à luz de seu contexto e dos objetivos do professor que irá utilizá-los – frisa-se que em um processo de estímulo à aprendizagem significativa, pode-se promover, inclusive, assimilações conceituais da óptica com os estudos newtonianos.

A UEPS: O ‘mito’ do experimento crucial: Newton e a teoria da luz e cores

Objetivo geral: Discutir entre alunos de física em formação que a ideia de um experimento crucial que, *per se*, de forma definitiva e inequívoca, permite decidir ‘instantaneamente’ entre teorias ou concepções rivais, é um mito.

Conceito central: Experimento Crucial.

Público-alvo: Alunos da licenciatura e bacharelado em física.

Disciplina: Uma disciplina que envolva aspectos históricos e epistemológicos da ciência.

Duração: Aproximadamente 12 aulas (cada uma com 50 min).

Constituintes da UEPS: A UEPS “O ‘mito’ do experimento crucial: Newton e a teoria da luz e cores” é constituída por trechos da *obra original* de Newton, trechos de um *texto histórico*, dois *artigos científicos*, um *mapa mental*, uma *avaliação escrita*, além de *atividades coletivas e slides*.

Os trechos selecionados do artigo original de Newton, “Nova teoria sobre luz e cores” (Newton, 1672), explicitam as diversas hipóteses levantadas por ele para explicar a forma oblonga da luz, e a intensa dinâmica com experimentos; além disso, descrevem o experimento crucial por ele assim denominado.

O texto histórico “La gramática de uma controvérsia científica” (Granés, 2001) apresenta os estudos de Newton sobre luz e cores, incluindo sua experiência crucial, e distintos elementos do debate que se desencadearam após a apresentação de sua teoria. Entre as diversas críticas recebidas por Newton, aborda-se aquela apresentada por Hooke que, embora reconheça o resultado trazido pelo experimento newtoniano, diverge contundentemente da explicação dada por ele.

O artigo “Uma análise da ilustração do *experimentum crucis* de Newton em materiais de divulgação científica” (Raicik; Peduzzi & Angotti, 2017a) busca investigar como uma amostra de livros de divulgação científica, de autores com distintas formações, contextualiza os estudos de Newton sobre a teoria da luz e cores, na perspectiva das ilustrações dos experimentos por ele desenvolvidos, particularmente do *experimentum crucis*. Em conclusão, apresenta implicações da análise desenvolvida para o ensino de ciências.

O artigo “Da *instantia crucis* ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência” (Raicik; Peduzzi & Angotti, 2017b) ressalta que a existência e o significado de experimentos cruciais são questões que não reúnem consenso na ciência e na filosofia da ciência. Discorrendo sobre os posicionamentos de Duhem, Popper e Lakatos, por exemplo, explicita que essas concepções antagônicas entre si diferem da ideia de *instantia crucis* apresentada por Francis Bacon, em 1620. Nesse sentido, resgata a definição baconiana e discute concepções de experimento

crucial de alguns estudiosos, como Newton. Por fim, o artigo aponta reflexões para o ensino de ciências.

O mapa mental apresenta um quadro geral de visões acerca do experimento crucial, com as teses de Duhem, Popper e Lakatos, as possíveis funções atribuídas por Newton ao seu experimento e a origem da ideia com a *instantia crucis* de Bacon, além de relacionar essas concepções com o objetivo da UEPS. Cabe ressaltar, como faz Moreira (2006), a necessidade de os mapas serem explicados por seus autores, pois eles são representações externas de uma organização interna pessoal, porém, a título de exemplo, isto não impede que eles sejam lidos por outros sujeitos. Mapas mentais não objetivam estabelecer relações entre conceitos, incluem ideias gerais e não são organizados hierarquicamente, diferentemente dos conceituais. Nesse sentido, podem facilitar sua leitura.

A avaliação escrita, dissertativa e individual, abrange as seguintes questões: 1. Desenvolva uma análise crítica, em termos epistemológicos, acerca do experimento crucial, no que se refere ao episódio histórico envolvendo Newton, em um dos materiais disponibilizados (livros didáticos ou trechos de vídeos); 2. Em relação aos elementos da UEPS, materiais e estratégias de ensino utilizadas, que comentários e sugestões você teria quanto: a) a dinâmica em sala de aula; b) as atividades coletivas; c) aos textos e artigos; d) ao mapa mental.

Sequência didática:

Situação-inicial (1 aula)

Inicialmente, solicita-se que os alunos levantem possíveis funções dos experimentos na ciência, com um organizador prévio, por exemplo. A partir de suas colocações, fomentam-se discussões orais e coletivas, com as possíveis questões: Será que “um” experimento pode fazer com que uma hipótese seja rejeitada e outra aceita com base somente na evidência empírica produzida? Existe um único experimento que, por si só, permite resolver uma disputa científica? Essas perguntas visam levantar as concepções prévias dos alunos acerca do papel do experimento na ciência. O professor poderá desenvolver uma lista no quadro com as principais colocações dos alunos e discuti-las, posteriormente, com o grande grupo.

Situação-problema (2 aulas)

Propõem-se questões como: vocês sabem que Isaac Newton chamou um de seus experimentos de crucial? Com que intenção Newton denominou um de seus experimentos de crucial? Será que esse experimento evidenciou um resultado incontroverso na óptica? Depois das discussões geradas pelas perguntas, propõe-se aos alunos a leitura, em sala de aula, de parte do artigo “Uma análise da ilustração do *experimentum crucis* de Newton em materiais de divulgação científica”, disponibilizado em cópia impressa. Este material introdutório, neste caso, serve como um organizador prévio e introduz o assunto, que posteriormente será debatido com maior aprofundamento, em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade. Esta situação-problema permitirá, de forma sucinta, geral e por meio de observações livres em sala de aula, perceber que relações iniciais foram feitas pelos alunos no que se refere ao experimento crucial newtoniano, sua apresentação em livros de divulgação científica e as situações-problema colocadas inicialmente. Esta situação deve ser mediada pelo docente e debatida em grande grupo sem, necessariamente, estabelecer-se respostas e consensos.

Aprofundamento do tema (3 aulas)

Apresenta-se, por meio de exposição oral, de *slides* e de trechos do texto “La gramática de uma controvérsia científica” (Granés, 2001), bem como de extratos do artigo de Newton “Nova

teoria sobre luz e cores” (Newton, 1672), esses últimos disponibilizados em cópia impressa para os alunos, o experimento crucial de Newton e as implicações dele na controvérsia com Hooke. Esse momento visa detalhar e especificar a concepção de experimento crucial newtoniana, apresentada em termos gerais na etapa anterior, e evidenciar as discussões que ele teve com Hooke. Nesse sentido, espera-se que a concepção de que um experimento, por si só, é capaz de ser definidor e incontestável seja, progressivamente, revista e diferenciada ao longo das discussões. Busca-se sempre o diálogo com os alunos e não apenas uma exposição oral, para que o processo seja interativo e dialético, de modo a propiciar que os subsunçores da etapa anterior sirvam de ancoradouro para a análise do papel do *experimentum crucis* de Newton em seu debate com Hooke.

Nova situação-problema (3 aulas)

Sugere-se uma atividade colaborativa mediada por uma nova situação-problema, a saber: É possível definir o que é um experimento crucial? Ele pode, de fato, existir na ciência? Que significados, então, podem ser atribuídos a eles? Em pequenos grupos, os alunos poderão se reunir e apresentar respostas, não únicas nem consensuais, sobre as questões levantadas. Esta atividade colaborativa visa levar os alunos a interagirem, novamente, negociando significados, fundamental no processo da aprendizagem com significado, tendo o professor como mediador.

Para a próxima aula, como uma atividade a ser feita em casa, propõe-se a leitura de parte do artigo “Da *instantia crucis* ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência” em que se ressalta que a existência e o significado de experimentos cruciais são questões que não ostentam consenso na ciência e na filosofia da ciência.

Na aula seguinte, então, retoma-se as discussões acerca do *experimentum crucis* newtoniano em um nível mais alto de complexidade, juntamente com as concepções de Duhem, Popper e Lakatos acerca desse tipo de experimento. Instiga-se os alunos a destacarem, de forma coletiva e oral, semelhanças e diferenças entre as suas repostas às novas situações-problema e aquelas apresentadas no artigo.

Em termos cognitivos, no curso de novas aprendizagens, conhecimentos já estabelecidos na estrutura cognitiva dos estudantes podem ser reconhecidos como relacionados, reorganizarem-se e adquirirem novos significados. Visa-se, desta forma, a partir da análise filosófica da concepção de experimentos cruciais na ciência, salientar que não existe consenso sobre essa matéria e que os argumentos – de defesa ou contraponto tampouco são “cruciais”. Ademais, que esse segmento da história da óptica, por certo, contra argumenta a ideia de que um experimento, único e definidor, permite de forma inequívoca decidir ‘instantaneamente’ entre teorias ou concepções rivais.

Avaliação somativa individual (2 aulas)

Distribui-se extratos de cópias de livros didáticos aos alunos, ou sugere-se trechos de vídeos, que tratem do episódio histórico em questão, e solicita-se que eles desenvolvam uma análise crítica dos materiais, em termos epistemológicos, no que se refere ao experimento crucial. Cada aluno deverá identificar possíveis noções e/ou definições de experimento crucial e, conseqüentemente, visões de ciência que estão sendo passadas pelos materiais, apresentando vínculos e comparações com o que já foi discutido em sala de aula. Esta avaliação somativa busca indícios de que os alunos tenham conseguido evidenciar noções de experimento crucial passadas por materiais didáticos (e vídeos, se for o caso) e em discorrer sobre as implicações de determinadas asserções sobre esse experimento para uma melhor, ou não, compreensão da ciência. Tem-se a opção de permitir que os alunos desenvolvam a avaliação em casa.

Aula integradora final (1 aulas)

Retomam-se os conteúdos discutidos na UEPS, revendo as colocações dos alunos em relação as situações-problemas propostas ao longo da unidade buscando a reconciliação integrativa, além da diferenciação progressiva. Isto é, exploram-se relações entre ideias, conceitos, proposições e apontam-se similaridades e diferenças importantes em relação a concepção de experimento crucial na ciência. Para tanto, ressalta-se a incongruência de se admitir que um único experimento, *per se*, seja capaz de oferecer subsídios para a escolha teórica na ciência, de forma definitiva e inequívoca, como no exemplo newtoniano. Destaca-se que o assunto é complexo, não havendo consenso sobre o significado ou a existência de experimentos cruciais, como visto em Duhem, Popper e Lakatos. Salienta-se, por fim, a relevância de discussões desse tipo para o ensino de ciências, que visa ter uma compreensão mais adequada, por exemplo, do papel do experimento na ciência. Este momento, mediado pelo docente em uma breve exposição oral, fará uso também de um mapa mental [fig. 1], distribuído aos alunos, que visa apresentar um panorama geral das concepções de experimento crucial discutidas nas aulas anteriores.

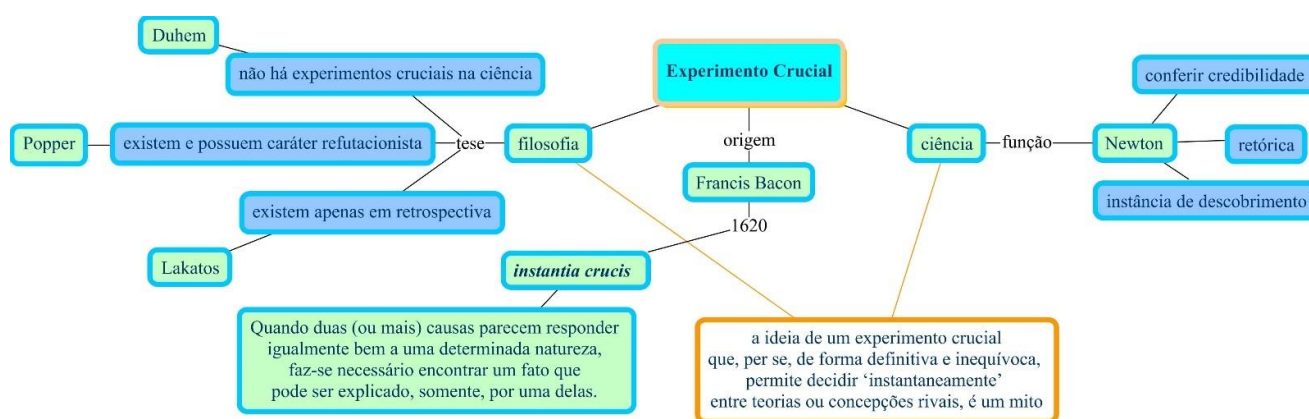


Figura 1- Mapa mental sobre a ideia de experimento crucial (Raicik).

Avaliação da aprendizagem na UEPS

Esta avaliação baseia-se nas observações livres em sala de aula, na participação dos alunos nas discussões e atividades coletivas e na avaliação somativa individual. Sugere-se que seu peso compreenda 70% da nota final. Cabe ressaltar, como faz Moreira (2011), que a UEPS será considerada profícua se apresentar indícios de aprendizagem significativa, por meio, por exemplo, de evidências da captação de significados, da compreensão e capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema, etc.

Avaliação da UEPS pelos alunos

Avaliação individual, dissertativa, que abrange a análise crítica de cada componente da UEPS – os materiais e as estratégias de ensino utilizadas. Analisa-se comentários e sugestões pertinentes para o aperfeiçoamento da UEPS, pelos alunos que tiveram a oportunidade de vivenciar a aplicação da mesma. Esta avaliação compreende 30% da nota final.

Avaliação da UEPS pelo docente

Analisa-se qualitativamente a UEPS em função dos resultados de aprendizagem obtidos. O docente pode modificar a sequência da UEPS e produzir alterações para o melhor desencadeamento da unidade visando a aprendizagem significativa, se necessário.

A UEPS e o ensino de ciências: contínuas reflexões

A literatura salienta, há décadas, a importância da utilização da História e da Filosofia da Ciência (HFC) em sala de aula (Hodson, 1986; Matthews, 1995; McComas *et al.* 1998; Peduzzi, 2005; Martins, 2006; Clough & Oslon, 2008; Forato *et al.*, 2011; Teixeira; Greca & Freire, 2012; Damasio & Peduzzi, 2016).

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas possibilitam, quando adequadamente trabalhadas, buscando coerência com a teoria que as fundamenta, que propostas didáticas envolvendo HFC, efetivamente, cheguem na sala de aula. Na prática, elas podem contribuir para a construção de estratégias que ampliem a visão epistemológica de professores e estudantes. A utilização de episódios históricos, é um meio para isso (Damasio & Peduzzi, 2016).

A UEPS apresentada nesse artigo visou, sobretudo, diferenciar progressivamente a ideia de experimento crucial com parte dos estudos ópticos newtoniano. Inicialmente, a temática é tratada de forma mais geral e inclusiva com a discussão da ilustração do *experimentum crucis* de Newton em materiais de divulgação científica. O conceito central da unidade começa a ser cada vez mais diferenciado com a contextualização histórica das discussões que Newton travou com Hooke.

Reflexões envolvendo a ideia de crucialidade de experimentos na ciência passam a ser diferenciadas progressivamente e reconciliadas integrativamente, em nível mais alto de especificidade, com seu entendimento e uso tanto por estudiosos no período da ciência moderna quanto por filósofos da ciência. Por entre as discussões suscitadas pelos materiais contidos e propostos na unidade, o resgate da ideia de *instantia crucis* de Bacon, que origina a noção de experimentos cruciais, pode permitir uma diferenciação e reconciliação integrativa que se aproximam ou se contrastam, em maior ou menor medida, com aquelas de estudiosos e filósofos (Raicik; Peduzzi & Angotti, 2017b).

No ensino de ciências, persiste a ideia de que existem experimentos cruciais na ciência e esses são suficientes para, por exemplo, dirimir debates fervorosos, como supracitado. Contudo, o termo, como se argumenta na UEPS aqui apresentada, é polissêmico. O seu significado difere tanto para os próprios estudiosos, como Newton – e também Robert Boyle, Robert Hooke, Luigi Galvani, Alessandro Volta, etc. – quanto em teses filosóficas. A postura e argumentação de Duhem ao afirmar que a existência de experimentos cruciais é inadmissível, o caráter refutacionista atribuído a esses experimentos por Popper e a possível atribuição de cruciais apenas em retrospectiva a alguns experimentos na ciência, como defendido por Lakatos, evidenciam que o tema é complexo, não apresenta consenso e não possui uma história contínua.

Além de contribuir para romper com o mito de que *um* experimento, *per se*, permite decidir ‘instantaneamente’ entre teorias ou concepções rivais, as discussões e reflexões que permeiam a UEPS fornecem subsídios para a compreensão de outros aspectos relativos à Natureza da Ciência: evidenciam que a experimentação pode possuir distintos papéis na ciência, que o diálogo entre hipótese e experimento é mais sutil do que normalmente se acredita, que os debates na ciência não são, pura e simplesmente, resolvidos se recorrendo meramente ao componente empírico (Peduzzi & Raicik, 2017).

Não obstante, além de poder contribuir para promover entre futuros docentes e pesquisadores uma formação *sobre* a ciência, a UEPS apresentada nesse artigo pode, também, propiciar, ainda que indiretamente, um aprendizado mais significativo voltado à *conteúdos* científicos. Conceitos acerca de leis e índices de refração, dispersão, formação de imagens, posição de desvio mínimo, prismas e suas características, a título de exemplo, e respeitado o nível de ensino para o qual se destina a unidade, podem ser discutidos e relacionados.

Como aponta Moreira (2004, p. 10), umas das dificuldades na atualidade, em relação ao ensino das ciências, é a “pouca transferência do conhecimento produzido pela pesquisa em educação em ciências à sala de aula”. Com efeito, a atualidade e potencialidade das UEPS pode favorecer a aproximação de discussões de conteúdo específico das ciências com investigações em ensino e contribuir metodológica e fundamentalmente com pesquisas associadas a aportes epistemológicos e educacionais, uma necessidade nas pesquisas na área das ciências.

Referências

- Assis, A. T. (2002). *Óptica: tradução, introdução e notas*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Bacon, F. (1979). *Novum Organum* ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza; Nova Atlântica. Tradução de José Aluysio de Andrade. São Paulo: Abril Cultural.
- Bernal, J. D. (1964). *História social de la ciencia*, I. Barcelona: Edicions 62.
- Carmo, L. A.; Medeiros, A. & Medeiros, C. F. (2000). *Distorções conceituais em imagens de livros textos: o caso do experimento de Joule com o calorímetro de pás*. In: VII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, Florianópolis. Atas...
- Clough, M. O. & Oslon, J. K. (2008). Teaching and assessing the nature of science: An Introduction. *Science & Education*, 17, 143–145.
- Cohen, I. B. & Westfall, R. S. (2002). *Newton: textos, antecedentes, comentários*. Rio de Janeiro: Contraponto: EDUERJ.
- Cupani, A. & Pietrocola, M. (2002). A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19(número especial), 100-125.
- Damasio, F. & Peduzzi, L. O. Q. (2016). A formação de professores para um ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica: uma proposta por meio de episódios históricos de ciência. *Labore em Ensino de Ciências*, 1(1), 14-34.
- Forato, T. C.; Pietrocola, M. & Martins, R. A. (2011). Historiografia e Natureza da Ciência da Sala de Aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27-59.
- Fulton, J. F. (1932). Robert Boyle and His Influence on Thought in the Seventeenth Century. *Isis*, v. 18, n. 1, p. 77-102.
- Granés, J. S. (2005). *Isaac Newton: Obra y Contexto una Introducción*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.
- Granés, J. S. (2001). *La gramática de una controversia científica: El debate alrededor de la teoría de Newton sobre los colores de la luz*. Colombia: Editorial Unibiblos.
- Hacking, I. (2012). *Representar e Intervir: tópicos introdutórios de filosofia da ciência natural*. Rio de Janeiro: EdUERJ.
- Hodson, D. (1988). Experiments in science and science teaching. *Educational Philosophy and Theory*, 20(2), 53-66.
- Hodson, D. (1986). Philosophy of Science and Science Education. *Journal of Philosophy of Education*, 20(2), 215-225.

- Martins, R. A. (2006). *Introdução: história da ciência e seu uso na educação*. In: Silva, C. C. (Ed) *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino* (pp. xxi-xxxiv). São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Matthews, M. R. (1995). História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 12(3), 164-214.
- McComas, W. F.; Almazroa, H. & Clough, M. (1998). The nature of science in science education: in introduction. *Science & Education*, 7, 511-532.
- Moreira, M. A. (2004). Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal. *Revista Chilena de Educación Científica*, v. 3, n. 1, p. 10-17.
- Moreira, M. A. (2006). *A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília: Universidade de Brasília.
- Moreira, M. A. (2011) Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 1(2), 43-63.
- Newton, I. (1672). A letter of Mr. Isaac Newton, professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; containing his new theory about light and colours; sent by the author to the publisher from Cambridge, Febr. 6. 1671/72; in order to be communicated to the R. Society”. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 6(80), 3075-3087.
- Newton, I. (2002). *Óptica*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Peduzzi, L. O. Q. (2015). *A relatividade einsteiniana: uma abordagem conceitual e epistemológica*. Publicação interna. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Peduzzi, L. O. Q. (2005). *Sobre a utilização didática da História da Ciência*. In: Pietrocola, M. (Ed) *Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora* (pp. 151-170). Florianópolis: Editora da UFSC.
- Peduzzi, L. O. & Raicik, A. C. (2017). *Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: www.evolucaodosconceitosdafisica.ufsc.br
- Raicik, A. C.; Peduzzi, L. O. Q. & Angotti, J. A. P. (2017a). Uma análise da ilustração do experimentum crucis de Newton em materiais de divulgação científica. *Física na Escola*, 15(2), 24-30.
- Raicik, A. C.; Peduzzi, L. O. Q. & Angotti, J. A. P. (2017b). Da instantia crucis ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, 22(3), 192-206.
- Schmiedecke, W. G. & Porto, P. A. (2015). History of science and science popularization on TV: theoretical resources for a critical approach of this relation in science teaching. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 15(2), 627-643.
- Silva, B. V. C. (2010). A Natureza da Ciência pelos alunos do ensino médio: um estudo exploratório. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* 4(3), 670-677.
- Silva, C. C. & Martins, R. A. (1996). A Nova teoria sobre luz e cores de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 18, 313- 27.

Silva, C. C. & Martins, R. A. (2003). A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação*, 9(1), 53-65.

Teixeira, E. S.; Greca, I. M. & Freire, J. O. (2012). *Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no ensino de física*. In: Peduzzi, L. O.; Martins, A. F. & Ferreira, J. M. H. (Ed) *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino* (pp. 9-40). Natal: EDUFRN, p. 9-40.

Westfall, R. S. (1962). The Development of Newton's Theory of Color. *Isis*, 53(3), 339-358.