UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE FÍSICA

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

INSTITUTO DE QUÍMICA

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

BRENO ARSIOLI MOURA

**Formação crítico-transformadora de professores de Física: uma
proposta a partir da História da Ciência**

São Paulo

2012

BRENO ARSIOLI MOURA

**Formação crítico-transformadora de professores de Física: uma
proposta a partir da História da Ciência**

Tese apresentada à Faculdade de
Educação, ao Instituto de Física, ao
Instituto de Química e ao Instituto de
Biociências da Universidade de São Paulo
para a obtenção do título de Doutor em
Ciências

Área de concentração: Ensino de Física

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cibelle Celestino
Silva

São Paulo

2012

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo ou pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Moura, Breno Arsioli

Formação crítico-transformadora de professores de Física:
uma proposta a partir da História da Ciência. São Paulo,
2012.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de
Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Profª Drª Cibelle Celestino Silva

Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Física – Estudo e Ensino; 2. Formação de
Professores; 3. História da Ciência; 4. Ensino Superior;
5. Física

USP/IF/SBI-071/2012

Para Barbara.

*Cada linha deste trabalho foi
construída com a força do
seu amor sincero e
seu apoio incondicional.
Não há aprendizado maior que
estar ao seu lado.*

*Logo o universo vai convergir e
nós dois poderemos seguir em
frente. Tendendo ao infinito.
E além.*

AGRADECIMENTOS

Nestes quatro anos de jornada rumo ao doutoramento, foi incontável a quantidade de pessoas que passaram por mim e influenciaram direta ou indiretamente o seu término. Foram muitos lugares, muitas vivências. Poderia investir dezenas de páginas agradecendo a cada uma dessas pessoas, mas serei breve. Que elas saibam, porém, que o completo agradecimento não se resume a essas poucas palavras.

Aos meus pais, Nelson e Elcia, cujo agradecimento vai além deste trabalho, mas pela vida, pelo exemplo, pela dedicação, pela paciência em suportar a saudade de um filho que escolheu construir sua vida longe de seus cuidados. "Por onde você for eu sigo com meu pensamento sempre onde estiver", sempre cantou minha mãe. Eu agora respondo: não importa onde estiver, meu coração sempre estará com vocês.

À Barbara, por não só ser a razão de tudo, mas por ter colaborado com os desenhos ao longo deste trabalho e serenamente compreendido a minha reclusão nestes últimos momentos. Sua paixão pela arte e pela cultura, sua generosidade e honestidade contribuíram de forma determinante para muitas das reflexões que coloco neste trabalho.

À minha irmã, Thais, que esteve ao meu lado no início de tudo, há exatos dez anos. Obrigado pelas risadas, pelo companheirismo e por me orientar sobre os dissabores da vida adulta.

Aos meus amigos, que sempre foram um porto seguro nas piores tempestades e nos melhores dias de sol.

Thais Forato, obrigado pela amizade, pelas palavras de apoio e por ser o cupido que me apresentou àquela que faz meus dias mais felizes. Esdras, obrigado pela amizade, pelos conselhos e por torcer por mim ao longo desses anos. Lu e Nilva, obrigado pela convivência em mais uma de minhas mudanças e por me ajudarem

sem hesitar em um momento particularmente ruim. Fred, agradeço pelos dias compartilhados e por ser tão diferente (para melhor) daquilo que eu imaginava quando te conheci. Lúcia, Fernanda e Flaviane, obrigado pelos reencontros, pelas risadas e por representarem o fio da inocência de tempos que ficaram na memória. Felipe Schirmer, agradeço por sempre tentar me mostrar que a vida não é tão complicada quanto parece.

Aos amigos da pós-graduação: Glauco, Sylvia, Roseline, Giselle, Marcília, Renata, Ricardo, Alexandre, Luciana, Jackelini, Betão (*in memoriam*), Lúcia Helena. Obrigado pelas trocas de ideias, pelas viagens inesquecíveis e por serem pessoas de particularidades tão diversas, que os tornam ainda mais importantes. Aos professores da pós-graduação: Cristiano, Maria Regina, Yassuko e Cristina. Agradeço pelas orientações e por participarem de diferentes etapas dessa jornada.

Aos amigos de Alfenas: Gustavo e Rejane. Obrigado por diminuir a solidão de um recém-chegado e por compreender que eu precisava partir.

Aos amigos de Uberaba: Diego, Dionizio, Carla, Graziela, Milton, Valdina, Alexandra, Luiz. Agradeço por serem pessoas tão bacanas, solidárias e atenciosas nesses anos no Triângulo.

Aos alunos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), que gentilmente concordaram em ter suas falas e escritas utilizadas neste trabalho. Obrigado por fazerem parte desta importante etapa da minha profissão.

Aos professores Demétrio Delizoicov e João Zanetic, que participaram do exame de qualificação. Obrigado pelas inestimáveis sugestões, que contribuíram para dar o sentido que faltava a este trabalho.

À minha orientadora, Cibelle. Agradeço por estes nove anos de orientação e pela compreensão e ajuda nesta fase final. Obrigado por guiar meu desenvolvimento profissional ao longo desses anos.

A todos que, direta ou indiretamente, tiveram papel fundamental em minhas escolhas e contribuíram para que eu continuasse sempre ensinando e aprendendo com a vida.

...

Penso que cumprir a vida

Seja simplesmente

Compreender a marcha

E ir tocando em frente

Como um velho boiadeiro

Levando a boiada

Eu vou tocando os dias

Pela longa estrada, eu vou

Estrada eu sou

...

(Tocando em frente / Almir Sater, Renato Teixeira)

RESUMO

MOURA, B.A. **Formação crítico-transformadora de professores de Física: uma proposta a partir da História da Ciência.** 2012. 309f. Tese (doutorado) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

A conjuntura atual da formação de professores de Física aponta para um cenário complexo, com propostas diversificadas e pontos de vista distintos sobre qual professor se espera e quais conhecimentos ele deve ter. Nesse sentido, é defendida neste trabalho a necessidade de se promover uma formação crítico-transformadora, no intuito de proporcionar aos professores uma visão crítica de mundo e incentivar uma atitude transformadora, a fim de que eles saibam lidar com este cenário que os cerca. A História da Ciência, ao proporcionar uma visão mais clara do processo de construção do conhecimento científico, pode oferecer subsídios para desenvolver a formação crítico-transformadora dos professores de Física. A partir disso, foi construída uma proposta de abordagem da História da Ciência que promovesse a formação crítico-transformadora, denominada Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC). Fundamentada na ideia de ensino contextualizado, a AMHIC propõe o estudo de episódios históricos a partir de três contextos: científico, metacientífico e pedagógico. A abordagem foi aplicada de forma piloto em uma disciplina do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, sendo coletado para análise um conjunto de dados escritos, notas de campo e entrevistas. Os resultados apontam para o desenvolvimento de aspectos da formação crítico-transformadora nos licenciandos que participaram da pesquisa.

Palavras-chave: Formação de Professores, História da Ciência, Ensino Superior

ABSTRACT

MOURA, B.A. **Critical and transformative education of physics teachers: a proposal from the History of Science**. 2012. 309f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

The current set of physics teachers training programs points out to a complex scenario, with a great number of proposals and different points of view about which model of teacher is expected and which knowledge he or she must possess. In this thesis, we defend a critical and transformative education of teachers, in order to afford a critical view of the world and encourage a transformative behavior, so that the teachers can be able to deal with the complex scenario that surrounds them. The History of Science, offering a wider comprehension about the construction of scientific knowledge, can be a resource to develop a critical and transformative education of physics teachers. From this, we elaborate an approach of History of Science that promoted the critical and transformative education, called Multicontextual Approach of History of Science (AMHIC). Based on the conception of contextual teaching, the AMHIC proposes the teaching of historical episodes through three contexts: scientific, metascientific and pedagogical. The approach was applied in the physics teacher training program of Universidade Federal do Triângulo Mineiro, in the state of Minas Gerais, Brazil. We collected a set of written data, field notes and interviews. The results indicate that pre-service teachers developed some of the aspects of critical and transformative education.

Keywords: Teacher training, History of Science, Higher Education

SUMÁRIO

Introdução – As perguntas, os referenciais teóricos e o problema de pesquisa	13
Capítulo 1 – A formação crítico-transformadora de professores de Física	22
1.1. Prelúdio à discussão: o que dizem sobre a formação de professores os documentos oficiais para a Educação no Brasil	24
1.2. As bases para a construção da concepção de formação crítico-transformadora ..	46
1.2.1. O professor como intelectual transformador	47
1.2.2. A Física como elemento cultural	57
1.2.3. O cidadão como interventor na realidade em que vive.....	62
1.3. A formação crítico-transformadora e seus elementos.....	67
Capítulo 2 – A História da Ciência no Ensino e na Formação de Professores de Física	73
2.1. História da Ciência e Ensino.....	74
2.2. Os problemas da História da Ciência na Formação de Professores	78
2.3. História da Ciência e formação crítico-transformadora: construindo relações.....	88
Capítulo 3 – A Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC)	93
3.1. Os episódios históricos e o viés problematizador	95
3.2. Os contextos da AMHIC	97
3.3. Uma visão geral da AMHIC	119

Capítulo 4 – Um Estudo de Caso: a Abordagem Multicontextual da História da Ciência na Licenciatura em Física.....	122
4.1. As disciplinas "Estudos e Desenvolvimento de Projetos IV" e "V".....	124
4.2. Os episódios históricos selecionados	128
4.3. A aplicação da AMHIC em EDP V	144
Capítulo 5 – Os dados e os resultados.....	167
5.1. Os dados coletados.....	167
5.2. A análise dos dados	170
5.2.1. O questionário sobre Natureza da Ciência.....	170
5.2.2. O questionário sobre História da Ciência.....	185
5.2.3. As anotações sobre as aulas.....	189
5.2.4. O questionário final de avaliação	194
5.2.5. Os materiais didáticos.....	200
5.2.6. As entrevistas com os licenciandos	212
Conclusão – Os aspectos gerais do trabalho e as perspectivas futuras.....	230
Referências Bibliográficas	235
Anexos	248
Anexo 1	248
Anexo 2.....	253
Anexo 3.....	257
Apêndices.....	259

Apêndice 1	259
Apêndice 2	262
Apêndice 3	305
Apêndice 4	307
Apêndice 5	308
Apêndice 6	309

INTRODUÇÃO – AS PERGUNTAS, OS REFERENCIAIS TEÓRICOS E O PROBLEMA DE PESQUISA

A curiosidade talvez seja o motor mais evidente do questionamento. Pode ser uma curiosidade ingênua ou uma curiosidade epistemológica, como afirma Paulo Freire; qualquer que seja, é muito claro que o ser humano tem um desejo implícito de saciar aquilo que o torna curioso, questionador.

Mas como surge a curiosidade? Para responder a essa pergunta, poderia recorrer a infinitos campos do pensamento filosófico ou até mesmo à etimologia da palavra. Prefiro, contudo, me ater à resposta de que toda curiosidade é resultado de uma inquietação, um incômodo, uma dúvida que pode se tornar incontrollável e insuportável se não solucionada. Assim ocorre na curiosidade cotidiana, da conversa descompromissada e corriqueira, assim ocorre na curiosidade para o conhecimento intelectualizado, significativo.

A construção desta tese foi resultado de muitas inquietações. Estas levaram a perguntas, a problemas a serem enfrentados. Estes resultaram em conhecimento, que ao longo do texto procura vir à luz, com o intuito de compartilhar saberes e gerar outras tantas inquietações.

Neste momento introdutório, pretendo discorrer não sobre os conhecimentos gerados – que serão discutidos nos próximos capítulos –, mas sobre as inquietações e as perguntas que os originaram. A pergunta inicial que norteou este trabalho surgiu da inquietação e do incômodo provocados pela leitura do texto do educador português Antonio Nóvoa, em um artigo na revista *Educação e Pesquisa*, publicado há treze anos. Segundo ele, havia uma retórica exagerada sobre o papel dos professores no desenvolvimento da aguardada "sociedade do futuro" do novo milênio então a se iniciar (NOVOA, 1999, p. 13). Esta retórica tinha como consequência a substituição da efetiva ação para que algo fosse modificado pelo conforto trazido pelo sentimento de que algum dia a atual situação mudaria.

Nóvoa (1999, p. 17) argumentou que havia um "excesso de discurso" e uma "pobreza de prática" em relação à formação de professores, levando a uma

expectativa excessiva sobre o futuro, em detrimento contexto presente. Para o autor, este "excesso de futuro" é uma maneira de justificar a "pobreza do presente". Pouco mais de uma década depois – e já avançando no novo milênio – podemos dizer que o contexto atual tem suas similaridades em comparação à situação apontada por Nóvoa (1999).

As semelhanças do contexto atual com aquele descrito por Nóvoa (1999) se referem à presença ainda marcante do discurso, em detrimento à prática, nas ações e políticas educacionais recentes, em especial sobre a formação de professores.

O cenário atual vivencia o aumento significativo no número de vagas no Ensino Superior por meio do Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI). Atrelado a este aumento, está a criação de novos cursos, especialmente os de licenciatura no período noturno. Com isto, o governo federal pretende aumentar o acesso à universidade, garantindo o acesso de indivíduos de baixa renda, que geralmente trabalham no período diurno, ao nível superior. Em relação à formação de professores, há uma alta dose de expectativa sobre o REUNI, uma vez que espera-se, com isso, solucionar o grave problema da falta de profissionais bem formados atuando nas salas de aula. Mais professores formados, mais professores em sala de aula.

No entanto, esta expectativa está apoiada mais no "discurso" que na "prática" efetivamente. Mais no discurso e menos na prática porque o REUNI não só trouxe a expansão do ensino superior, como também a expansão dos problemas. Com a criação dos cursos antes da consolidação da estrutura física e de pessoal necessária para atender às novas demandas, as instituições federais de ensino superior viram suas necessidades inflarem sem controle, gerando um universo de transtornos para docentes, discentes e funcionários. As esperanças são depositadas no professor do futuro, mas fica a dúvida sobre quem será este professor formado neste emaranhado de problemas.

Como um ponto evidentemente positivo, o REUNI incentivou a criação de licenciaturas que incluíssem pontos inovadores em seus currículos, ou seja, que

apresentassem propostas diferenciadas em relação a cursos tradicionais e já consolidados. Isto possibilitou que educadores imergissem os currículos em reflexões atuais da Educação, procurando estruturar cursos de formação de professores que tivessem uma identidade própria, separando-se da ideia de que são apenas uma modalidade dentro de um curso maior. Além disso, vale apontar o estímulo ao ingresso do licenciando no ambiente escolar logo no início da graduação por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), complementando o estágio supervisionado como momentos de vivência com as questões educacionais.

Sendo assim, por um lado tem-se a forte presença do discurso, ainda esperando pelo futuro, e por outro, a possibilidade de fazer deste discurso uma prática real e efetiva no presente. A partir disto, formou-se a pergunta inicial: como, então, sair da retórica e ir para a ação, realizando um trabalho que não apenas *almeje* algo, mas que propicie caminhos para que isto de fato aconteça?

Argumento que não é possível excluir a retórica e se concentrar na ação. As duas devem ser indissociáveis. Nesse sentido, faço das minhas palavras as de Paulo Freire, quando diz que reflexão sem ação é "verbalismo", enquanto o inverso não passa de um mero "ativismo" (FREIRE, 2005, p. 90). Se o objetivo é superar o excesso de discurso e a pobreza de prática, é fundamental encontrar um equilíbrio entre os dois.

A retórica a ser trabalhada não deve ser entendida em um sentido pejorativo, assim como Nóvoa (1999) o faz; mas uma retórica a partir de reflexões pautadas em referenciais consolidados da Educação, com o intuito não de ficar apenas no discurso, mas proporcionar caminhos para a ação. Esta última, por sua vez, busca ser plausível, replicável e transformadora, não se restringindo apenas a um assunto pontual e efêmero.

Tendo como plano de fundo o cenário atual para a formação de professores e para o ensino superior como um todo, a retórica se inicia com a defesa de uma formação crítico-transformadora na Licenciatura em Física. Qual formação é esta,

por que ela é importante e por quais razões ela se justifica são mais algumas perguntas que contribuíram para estruturar o problema de pesquisa.

Defino formação crítico-transformadora como aquela que engloba o desenvolvimento da capacidade do professor em dialogar criticamente com o mundo, de se posicionar, de ter opiniões embasadas por argumentos concretos, de compreender seu papel enquanto formador e de estabelecer conexões entre a Física e o contexto histórico, social e cultural em que ela é ou foi desenvolvida.

O professor de Física crítico-transformador aprende e ensina, é ciente de sua posição no contexto histórico, e entende a Ciência como empreendimento humano e cultural de uma sociedade. Um professor que compreende sua força para criticar, mudar e transformar a Educação e entende a escola como um local de aprendizado, de troca e construção de ideias, de desenvolvimento pessoal, profissional e político.

A concepção de formação crítico-transformadora encontra ressonância no discurso combinado de diversos acadêmicos, no que diz respeito ao papel do professor (FREIRE, 1996; 2005; 2011; GIROUX, 1992), da Física e do Ensino de Física (ZANETIC, 1989; 2009) e, em uma perspectiva mais geral, de cidadão (ZABALA, 2002). A escolha destes autores como bases para a concepção de formação crítico-transformadora não foi aleatória.

Paulo Freire, ao trabalhar sob o viés da educação como prática da liberdade e da dialogicidade, entende o educador como aquele que problematiza o conteúdo, atuando não como um mero transferidor de conhecimento, mas como aquele que ensina – e aprende – *com* o aluno. O professor deve interagir com a realidade, percebendo-se como ser intrínseco a ela e capaz de transformá-la, tomando consciência de que é um ser histórico-social e agente da mudança (FREIRE, 2005; 2011).

O educador norte-americano Henry Giroux, por sua vez, como articulador de uma pedagogia crítica – que traz influências de diversos autores, entre eles, o próprio Paulo Freire – opera com três conceitos básicos: a visão do professor como um

intelectual transformador, a escola como local de oposição e a pedagogia radical como forma de política cultural. Para o autor, o desenvolvimento destas concepções atua diretamente contra a consciência tecnocrática e as pedagogias gerenciais que se alastram pelos cursos de formação de professores e pelas políticas educacionais e que encaram o ensino como um simples momento de aplicação de teorias (GIROUX, 1992).

Sobre a Física e o Ensino de Física, a escolha pelas discussões de João Zanetic é adequada para esta pesquisa à medida que a concepção de formação crítico-transformadora leva em conta o entendimento da Física como conhecimento construído historicamente e, portanto, elemento da cultura de uma sociedade. Ao trabalhar com a perspectiva da Física como cultura, Zanetic (1989; 2009) traz subsídios suficientes para dar ao conhecimento físico uma dimensão cultural e social, aspectos importantes para fomentar a formação crítico-transformadora de professores de Física.

Em relação ao educador espanhol Antoni Zabala, suas discussões sobre o modelo de cidadão necessário para entender e solucionar os problemas da sociedade e trabalhar para melhorá-la se encaixam na ideia de que o professor deve ser hábil a dialogar com o mundo, presente na concepção de formação crítico-transformadora. Trabalhando com a ideia de quatro dimensões de desenvolvimento do indivíduo, Zabala (2002) reúne elementos importantes para alicerçar o pressuposto imbuído na concepção de formação crítico-transformadora aqui defendida de que os professores devem compreender o papel que exercem de formadores de outros cidadãos e cidadãs.

O propósito de formar professores de Física como crítico-transformadores gera outro conjunto de perguntas, dessa vez relacionadas ao modo como promover esta formação nos cursos de licenciatura. Nesse sentido, amparo minha argumentação na potencialidade da História da Ciência como promotora de uma formação crítico-transformadora.

A formação crítico-transformadora inclui como um de seus elementos a compreensão do professor como ser histórico e agente da transformação do mundo. Nesse sentido, o professor se coloca como parte do desenvolvimento do conhecimento, parte de sua história e concepção. Estudar a História da Ciência é, dessa forma, aproximar o professor da historicidade do conhecimento científico, colocando-o como parte dessa história, aperfeiçoando sua postura crítica e ativa em relação à Ciência.

Ao ilustrar os meandros da Ciência, da sua construção e da sua relação com o mundo, a História da Ciência pode ser utilizada como ferramenta para ampliar a visão crítica do licenciando, tanto em relação às suas posturas como professor e indivíduo quanto em relação à Ciência ou a Física, mais especificamente. Nesse sentido, buscamos suporte teórico nos trabalhos de Matthews (1994; 1995), Martins (1990; 2006), Peduzzi (2001), que apresentam e discutem, entre outros pontos, as contribuições da História da Ciência para o Ensino.

Entretanto, a introdução da História da Ciência no Ensino, de uma forma geral, encontra questões alvo de investigação, principalmente em relação ao *como fazer* ou *como utilizar*. Pesquisas publicadas nos últimos anos apontam para diversos problemas encontrados por educadores ao tentar incluir História da Ciência em suas aulas (HÖTTECKE e SILVA, 2011; FORATO, MARTINS e PIETROCOLA, 2011; A. MARTINS, 2007), tais como: a falta de formação ou habilidade dos professores em trabalhar com conteúdos históricos, a falta de material didático adequado, a falta de tempo, o engessamento dos currículos escolares, entre outros. Muitos licenciandos e futuros professores compreendem o papel que a História da Ciência exerce no sentido de dar significado aos conteúdos científicos, mas raramente se sentem à vontade de utilizá-los em suas práticas docentes.

Nos cursos de licenciatura em Física – assim como nos bacharelados – o estudo da História da Ciência está geralmente ancorado somente em disciplinas específicas da área. Contudo, estas geralmente se restringem a uma apresentação cronológica de episódios históricos – com algumas exceções –, o que pode ser evidenciado em

suas ementas excessivamente amplas. Sendo assim, se o intuito é utilizar a História da Ciência como propulsor de uma formação crítico-transformadora, a abordagem superficial e cronológica não parece adequada.

Contudo, mais que argumentar sobre os prejuízos de uma aproximação simplista e cronológica da História da Ciência, afirmo que, no propósito de formar professores de Física crítico-transformadores, a História da Ciência não pode estar restrita a essas disciplinas. Se esta formação compreende o entendimento do professor como ser da própria história e se o intuito é entender a Física como um processo e não um produto, o estudo histórico do conhecimento científico deve permear todo o curso de formação.

Para levar a História da Ciência como ponto fundamental da formação de professores de Física crítico-transformadores, a pergunta sobre o *como* torna-se inevitável. O ensino pragmático e a-histórico que domina as práticas docentes nos cursos de formação é um claro impeditivo, mas não se configura como intransponível. O desenvolvimento de uma abordagem diferenciada para trabalhar a História da Ciência pode solapar gradualmente esta prática e substituí-la por uma atuação também mais crítico-transformadora do docente universitário.

Alicerçado e guiado por estas perguntas e reflexões iniciais, apresento o problema de pesquisa deste trabalho: estruturar uma proposta de abordagem da História da Ciência que contemple uma formação crítico-transformadora de professores de Física. Para isso, discutirei a Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC), que busca ser uma proposta de analisar episódios históricos a partir de três contextos (científico, metacientífico e pedagógico) e de um viés problematizador.

A AMHIC pretende ser um recurso para docentes universitários trabalharem a formação crítico-transformadora na licenciatura em Física. Como uma reflexão e uma proposta teórica para incorporar o estudo histórico da Ciência, a AMHIC vai além da simples retórica, apresentando um caminho de possibilidades e

potencialidades que o uso de conteúdos históricos pode ter nos cursos de formação de professores de Física.

A partir disso, encaminho a discussão para a ação. A fim de analisar a potencialidade da AMHIC no sentido de formar professores crítico-transformadores, apliquei a abordagem na disciplina "Estudos e Desenvolvimento de Projetos V" do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM). Participaram da aplicação alunos do 5º período do curso.

Os resultados da aplicação da AMHIC indicam, por um lado, que ela possibilitou o desenvolvimento de uma percepção mais crítico-transformadora por parte dos licenciandos. Por outro lado, também indicam aspectos importantes que devem ser considerados em outras possíveis situações de aplicação.

No caminho da fala de Nóvoa (1999) sobre a retórica existente no discurso sobre a formação de professores, esta tese se coloca no caminho oposto: não buscamos meramente repetir as mazelas enfrentadas nos cursos de formação, muitas delas amplamente debatidas na comunidade acadêmica, mas substituir a retórica e ação vazias por argumentos e propostas fundamentadas no contexto atual da Educação.

Esta tese está estruturada da seguinte forma: no **Capítulo 1 (A formação crítico-transformadora)**, apresentarei a análise detalhada da concepção defendida no trabalho, embasando a argumentação, primeiramente, nos referenciais de Freire (2005; 2011) e Giroux (1992) e, em seguida, nas ideias de Zanetic (1989, 2009) e Zabala (2002). Outros autores serão utilizados como interlocutores. No **Capítulo 2 (A História da Ciência no ensino e na formação de professores)**, discutirei as potencialidades do discurso histórico, a presença da História da Ciência nos cursos de licenciatura em Física e os principais problemas enfrentados na interface entre História da Ciência e Ensino. Ao final do capítulo, abordarei sobre como a História da Ciência se relaciona intimamente com a concepção de formação crítico-transformadora e por que as duas são indissociáveis.

No **Capítulo 3 (A Abordagem Multicontextual da História da Ciência)**, descreverei a estrutura da abordagem e como ela se relaciona com a concepção de formação crítico-transformadora. No **Capítulo 4 (Um estudo de caso: a aplicação da Abordagem Multicontextual da História da Ciência na Licenciatura em Física)**, descrevei a disciplina em que a AMHIC foi aplicada, os episódios históricos selecionados e a sequência da aplicação.

No **Capítulo 5 (Os dados e os resultados)**, apresentarei os métodos de obtenção de dados e a análise dos mesmos. Por fim, na **Conclusão**, farei um panorama dos resultados obtidos, no intuito de listar uma série de aspectos que devem ser considerados na aplicação da abordagem nos cursos de Licenciatura em Física.

Retomando a reflexão inicial e finalizando esta introdução, afirmo que este é um trabalho sobre formação inicial de professores de Física, mas voltado para os docentes formadores. Entretanto, vale ressaltar que os conhecimentos discutidos nesta tese não são dados como regras a serem seguidas cegamente; não se pretende instituir uma visão "bancária" no ensino superior, utilizando aqui o famoso termo cunhado por Freire para representar uma concepção pragmática de ensino. Os conhecimentos e as discussões são e continuarão sendo construídos, como peças inacabadas de uma visão pedagógica integradora e transformadora.

CAPÍTULO 1 – A FORMAÇÃO CRÍTICO-TRANSFORMADORA DE PROFESSORES DE FÍSICA

No senso comum, a palavra "crítica" está geralmente associada a um comportamento incisivo, arrogante, que busca somente apontar os defeitos alheios. O crítico é aquele que nunca está satisfeito.

Contudo, a etimologia da palavra crítica remete a um significado mais abrangente e menos rigoroso. Originada de termos gregos como "kriticos" e "krinein", um indivíduo crítico significa aquele "capaz de fazer julgamentos" ou "separar, decidir"¹. No sentido etimológico, pode-se entender o indivíduo crítico como aquele capaz de se posicionar, de colocar sua opinião, de argumentar a partir de um julgamento embasado. O crítico não é somente aquele que aponta falhas de forma aleatória, mas que pode indicá-las a partir de argumentos coerentes, construídos a partir de sucessivas reflexões e ponderações.

Nas pesquisas e propostas educacionais, a ideia de senso crítico ou postura crítica tem se tornado cada vez mais comum. São diversos os discursos que advogam uma visão mais crítica dos professores. Se pensarmos em um indivíduo crítico em seu sentido etimológico, pode-se dizer que estas falas defendem que este indivíduo seja capaz de fazer julgamento, de apresentar uma opinião embasada sobre algo. O que estes discursos não incorporam, entretanto, são os elementos necessários para dizer se uma ou outra pessoa tem uma visão crítica sobre algo. Posso dizer que os professores devem ser críticos, mas o que isto significa? Que saberes, conhecimentos, habilidades estes sujeitos possuem que dão a eles a alcunha de indivíduos críticos? E, principalmente, por que eles devem ser críticos?

Para começar a responder a estas perguntas, aponto primeiramente que este movimento por um novo tipo de formação de professores presente nas pesquisas e políticas educacionais é importante. É preciso superar o excesso de pragmatismo e

¹ Fonte: Online Etymology Dictionary: <http://www.etymonline.com>. Acesso em 06/2012.

a dicotomia existente entre a Física e a Pedagogia nas licenciaturas. O emprego de um racionalismo técnico, que torna a atividade docente como um simples momento de aplicação de teorias e transmissão de conhecimento, mostrou suas deficiências e prejuízos para uma educação de qualidade. Como aponta Pereira (1999, p. 116),

[...] torna-se necessário pensar a formação de um profissional que compreenda os processos humanos mais globais, seja ele um professor da educação infantil, dos primeiros ou dos últimos anos da escola básica.

Em segundo lugar, aponto a necessidade de uma modificação do termo "crítico" para "crítico-transformador". Os diversos sentidos que a palavra "crítica" possui a torna por demais polissêmica para um uso mais definido em relação à formação de professores.

Uma primeira razão para esta modificação encontra seu fundamento nos trabalhos de Freire (1996; 2005; 2011) e Giroux (1992). O professor não deve apenas criticar, mas criticar atuando sobre uma realidade e transformando-a.

Arelado a isso, vem a segunda razão: para criticar e atuar sobre esta realidade, o professor precisa entendê-la como parte de si, construída por si. A Física, nesse sentido, deve ser compreendida como elemento cultural e social, como um empreendimento essencialmente humano (ZANETIC, 1989; 2009).

A terceira e última razão está abrigada na concepção de cidadão: intervindo e transformando a realidade a partir do entendimento de que ela faz parte de si, o professor desenvolve sua própria percepção como cidadão do mundo, que o integra e, com sua ação docente, forma outros cidadãos (ZABALA, 2002). Dessa forma, a formação crítico-transformadora vai além de uma formação crítica.

O estudo destes referenciais possibilita definir quais elementos fazem parte de uma formação crítico-transformadora e por que ela é necessária. Isto reforça a questão de que é fundamental um novo olhar para a formação de professores, promovendo não somente o estudo das práticas educacionais e dos conhecimentos específicos em Física, mas também uma formação que desenvolva no futuro professor a noção de que pode e deve transformar o ensino.

Neste capítulo, discutirei a concepção de formação crítico-transformadora e argumentarei sobre as razões de sua importância para a formação de professores de Física. Antes, contudo, no sentido de contextualizar a discussão levando em consideração a situação atual, farei uma breve análise de alguns documentos oficiais para a Educação brasileira que tratam direta ou indiretamente a formação de professores.

1.1. Prelúdio à discussão: o que dizem sobre a formação de professores os documentos oficiais para a Educação no Brasil

A publicação da nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) em Dezembro de 1996 iniciou uma fase de mudanças na educação brasileira, envolvendo entre outras coisas, a formação de professores. Em relação a isso, a nova LDB desencadeou uma série de iniciativas para estabelecer uma identidade própria aos cursos de licenciatura e de pedagogia, no sentido de minimizar a concepção comum de que a formação de professores se resume ao mero cumprimento de carga horária em disciplinas pedagógicas. De modo geral, entende-se que estes cursos são detentores de especificidades significativamente diferentes daquelas de outros cursos superiores.

Fundamentada nos compromissos assumidos pelo Brasil na Conferência Educação para Todos, realizada em março de 1990 na Tailândia, e balizada pelo Plano Decenal de Educação para Todos de 1993, a LDB passou por um processo de construção não trivial, envolvendo uma série de debates, disputas e modificações que mobilizaram parlamentares e entidades da sociedade com diferentes interesses (GHIRALDELLI JR., 2009, p. 170).

No caso específico da formação de professores, a LDB abordou a necessidade da valorização destes profissionais – estabelecendo plano de carreira – e da importância do aperfeiçoamento contínuo. Além disso, a nova lei da educação

também dispôs sobre os locais onde esses professores deveriam ser formados, como descreve o artigo 62º:

A formação de docentes para atuar na educação básica far-se-á em nível superior, em curso de licenciatura, de graduação plena, em universidades e institutos superiores de educação, admitida, como formação mínima para o exercício do magistério na educação infantil e nas quatro primeiras séries do ensino fundamental, a oferecida em nível médio, na modalidade normal. (BRASIL, 1996, p. 22)

De acordo com a LDB, os professores devem ser formados prioritariamente nas universidades, em cursos superiores. Admite-se ainda, porém, a formação de professores nos chamados institutos superiores de educação (ISE) para a educação infantil e os primeiros anos do ensino fundamental, no estilo das Escolas Normais de formação de professores que se espalharam no Brasil principalmente entre 1930 e 1970 (SAVIANI, 2009, p. 145-46).

Outro aspecto relevante para a formação de professores que a LDB aborda é a capacitação de docentes não formados em cursos de licenciatura. Segundo o artigo 63º (BRASIL, 1996, p. 23), esses profissionais podem frequentar “programas de formação pedagógica” oferecidos pelos ISEs, sendo que as horas destinadas à atividade prática (300 horas, segundo o artigo 65º) – as atividades de estágio – poderiam ser contabilizadas por meio das próprias aulas ministradas por eles em seus locais de trabalho.

Estes dois pontos sobre a formação de professores presentes na LDB foram e continuam sendo alvo de muitas críticas por parte de educadores. Segundo Saviani (2009, p. 148), admitir a existência dos institutos superiores de educação como uma “alternativa aos cursos de pedagogia e licenciatura” é promover uma “formação mais aligeirada, mais barata, por meio de cursos de curta duração”, ou seja, é nivelar por baixo a formação dos professores. Além disso, admitir que professores sem formação adequada contabilizem as horas de prática docente – assumidas não só como uma mera condução de aulas, mas englobando também uma reflexão sobre elas – remete à “lógica da improvisação” (PEREIRA, 1999, p. 114). Com isso, se

esquece de todo o significado formativo que a autocrítica sobre a atividade docente exerce na formação do professor.

Portanto, embora traga as bases para a estruturação da formação de professores, a LDB sofre de algumas falhas, permanecendo não como um aporte definitivo para um sistema nacional de formação, mas simplesmente como uma orientação. Como afirma Lima (2008, p. 56, 57), esta é uma “lei de governo, não de Estado”, ou seja, é uma “lei que orienta, mas não determina”. A Lei de Diretrizes e Bases, por conseguinte, não trata especificamente do perfil de formação dos professores, mas dos locais de formação, cargas horárias a serem cumpridas e saberes generalizados que os professores devem possuir.

Por estas razões, a LDB por si só não poderia ser utilizada como parâmetro único para as ações no campo da formação de professores; seria necessário o advento de outras políticas públicas que traduzissem os ditames desta lei. Estas políticas públicas deveriam funcionar como uma regulamentação e uma diretriz para o trabalho docente. Era preciso dizer quem era o professor de então, os problemas do contexto em questão, como deveria ser o professor do futuro e quais conhecimentos ele deveria saber.

A partir disso, foram surgindo nos anos seguintes da publicação da LDB políticas e ações públicas complementares, entre elas, o Plano Nacional de Educação (PNE), as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica (DCN), Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e o Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE). Em relação aos cursos de licenciatura e bacharelado em Física, a proposta de estipular o modo como os cursos deveriam se organizar veio com as Diretrizes Curriculares para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física (DCFísica). Analisarei especificamente cada uma dessas iniciativas, na ordem cronológica em que foram colocadas em voga.

Plano Nacional de Educação (PNE) – 2001-2011²

O Plano Nacional de Educação foi provavelmente a primeira importante iniciativa de alavancar a melhoria da educação brasileira pretendida com a LDB. Estabelecendo-se como uma tradução em ação do texto da LDB, o PNE trouxe um amplo diagnóstico da educação brasileira – incluindo a formação de professores – e um conjunto de objetivos e metas a serem cumpridos no prazo de dez anos após sua aprovação.

A ideia de um plano de âmbito nacional para a Educação não é recente. Desde meados da década de 30, como uma consequência do "Manifesto dos Pioneiros da Educação Nova" de 1932, esperava-se criar um conjunto de iniciativas para desenvolver a Educação no Brasil. Redigido por Fernando de Azevedo (1894-1974), um dos principais educadores do "movimento renovador" para a Educação na época, o "Manifesto" buscou discutir a reconstrução do contexto educacional no país, combatendo a escola tradicional e defendendo uma escola socializada, que buscaria os valores da humanidade como peça chave para o ensino (GHIRALDELLI JR., 2009, p. 44). Como aponta Saviani (2008, p. 208):

Essa exigência de organização de um sistema articulado traduzida na prerrogativa da União de fixar as diretrizes e bases da educação nacional, aliada à formulação do plano nacional de educação, mantém-se em todas as constituições posteriores [à Constituição de 1934], desembocando na atual promulgada em 5 de outubro de 1988.

Contudo, esperou-se quase setenta anos até que uma iniciativa real fosse realizada. O Plano Nacional de Educação, em vigor entre 2001 e 2011, não foi o único a tramitar pelos corredores do Congresso Nacional. Valente e Romano (2002)

² Em Dezembro de 2010, o governo federal enviou ao Congresso Nacional o projeto de lei que cria o novo Plano Nacional de Educação, a vigorar entre 2011 e 2020. O projeto estabelece vinte metas a serem atingidas, sendo cada uma delas acompanhadas de estratégias de ação. Entre estas metas estão ampliar o número de mestres e doutores nas instituições de ensino superior e garantir que todos os professores da educação básica tenham formação na área de atuação, obtida por meio de cursos de licenciatura. Até o presente momento, o projeto segue em análise pelos congressistas, sem previsão de aprovação.

apontam que os dois planos tinham concepções muito divergentes sobre os rumos da política educacional do país. Para os autores, enquanto o "PNE da Sociedade Brasileira" foi elaborado por diversos educadores, profissionais da educação, estudantes etc. e representava um projeto democrático e popular, o "PNE do MEC" foi desengavetado às pressas dos porões do Ministério e expressava a política do capital financeiro internacional e enfatizava questões relevantes somente para as classes dominantes:

O PNE da Sociedade Brasileira reivindicava o fortalecimento da escola pública estatal e a plena democratização da gestão educacional, como eixo do esforço para se universalizar a educação básica. [...] O PNE do governo insistia na permanência da atual política educacional e nos seus dois pilares fundamentais: máxima centralização, particularmente na esfera federal, da formulação e da gestão da política educacional, com o progressivo abandono, pelo Estado, das tarefas de manter e desenvolver o ensino, transferindo-as, sempre que possível, para a sociedade. (VALENTE e ROMANO, 2002, p. 98-9)

O Plano Nacional de Educação aprovado no Congresso Nacional manteve a essência do PNE do MEC, com alguns itens modificados e adicionados no parlamento, que incluíam excertos do PNE da Sociedade Brasileira. Grande parte deles seria vetado posteriormente pela Presidência da República (VALENTE e ROMANO, 2002, p. 101).

O texto do PNE foi estruturado em seis partes, sendo a quarta delas dirigida à formação de professores da Educação Básica. Cada uma das partes é trabalhada a partir de quatro aspectos: diagnóstico, diretrizes, objetivos e metas. De forma geral, o plano tem os seguintes objetivos:

- A elevação global do nível de escolaridade da população;
- A melhoria da qualidade de ensino em todos os níveis;
- A redução das desigualdades sociais e regionais no tocante ao acesso e permanência, com sucesso, na educação pública;
- Democratização da gestão do ensino público, nos estabelecimentos oficiais, obedecendo aos princípios da participação dos profissionais da

educação na elaboração do projeto pedagógico da escola e a participação das comunidades escolar e local em conselhos escolares ou equivalentes.

(BRASIL, 2001a, p. 34)

No que tange a formação de professores, o PNE afirma que a melhoria na formação é um de seus "objetivos centrais" (Brasil, 2001a, p. 95), sendo alcançada a partir da consideração de três elementos: a formação profissional inicial; as condições de trabalho, salário e carreira; a formação continuada. O texto traz um diagnóstico da situação no país de então, indicando, entre outras coisas, a escassez de professores e a má qualidade dos programas de formação.

A partir disso, o PNE discute as diretrizes que devem nortear os cursos de formação de professores e aqui destaco os dizeres relativos à formação inicial:

Na *formação inicial* é preciso superar a histórica dicotomia entre teoria e prática e o divórcio entre a formação pedagógica e a formação no campo dos conhecimentos específicos que serão trabalhados em sala de aula. (BRASIL, 2001a, p. 98)

Neste trecho, o PNE faz uma crítica ao tradicional modelo de formação conhecido como "3+1", que se caracteriza pela presença apenas de disciplinas específicas nos três primeiros anos de formação e apenas de disciplinas de cunho pedagógico (incluindo o estágio curricular) no último ano. Este modelo é denominado de *modelo da racionalidade técnica*.

Nesse modelo, o professor é visto como um técnico, um especialista que aplica com rigor, na sua prática cotidiana, as regras que derivam do conhecimento científico e do conhecimento pedagógico. Portanto, para formar este profissional, é necessário um conjunto de disciplinas científicas e um outro de disciplinas pedagógicas, que vão fornecer as bases para sua ação. No estágio supervisionado, o futuro professor aplica tais conhecimentos e habilidades científicas e pedagógicas às situações práticas de aula. (PEREIRA, 1999, p. 113)

A crítica a este modelo em um documento oficial de abrangência e influência nacionais é uma evidência de seus aspectos problemáticos para a formação de professores. Esperar esta linearidade na formação – primeiro os conhecimentos

específicos, depois os pedagógicos – mostrou-se inadequado e insuficiente para uma boa formação docente. Os cursos de formação de professores precisariam, portanto, de novas direções, que foram traduzidas pelo PNE na forma dos princípios a seguir:

- a) Sólida formação teórica nos conteúdos específicos a serem ensinados na Educação Básica, bem como nos conteúdos especificamente pedagógicos;
- b) Ampla formação cultural;
- c) Atividade docente como foco formativo;
- d) Contato com a realidade escolar desde o início até o final do curso, integrando a teoria à prática pedagógica;
- e) Pesquisa como princípio formativo;
- f) Domínio das novas tecnologias de comunicação e da informação e capacidade de integrá-las à prática do magistério;
- g) Análise dos temas atuais da sociedade, da cultura e da economia;
- h) Inclusão das questões relativas à educação dos alunos com necessidades especiais e das questões de gênero e de etnia nos programas de formação;
- i) Trabalho coletivo interdisciplinar;
- j) Vivência, durante o curso, de formas de gestão democrática de ensino;
- k) Desenvolvimento de compromisso social e político do magistério;
- l) Conhecimento e aplicação das diretrizes curriculares nacionais dos níveis e modalidades da educação básica.

(BRASIL, 2001a, p. 99)

É possível perceber que o PNE procura enfatizar uma formação completa do professor, ou seja, que ele não domine apenas o conteúdo específico de sua área, mas também elementos da história da educação, do trabalho em grupo, das atuais políticas públicas para a Educação e questões sócio-político-culturais

contemporâneas. Estes aspectos do PNE sinalizam para a ideia de que a formação de professores deve ser considerada um processo global e interdisciplinar.

Em alguns dos princípios listados acima, é possível identificar uma outra componente formativa que está sendo colocada à tona, especialmente nos itens *b*, *c*, *e*, *j*, *g* e *k*. Entretanto, o plano não é claro sobre o que caracteriza estes princípios.

Por exemplo, no item *b* é dito que os professores devem possuir ampla formação cultural. Em uma concepção de cultura como sendo "a dimensão da sociedade que inclui todo o conhecimento num sentido ampliado e todas as maneiras como esse conhecimento é expresso" (SANTOS, 2010, p. 50), podemos dizer que a formação cultural é aquela que propicia uma visão panorâmica e dinâmica do mundo ao redor. Entretanto, a concepção de formação cultural – assim como formação crítica – pode ter vários significados. Pode-se pensar em formação cultural como o conhecimento das manifestações mais comumente associadas à Cultura, tais como a literatura, a pintura, a música. Por outro lado, pode-se pensar nos modos de vida de diferentes grupos sociais, que têm sua "cultura própria", tais como índios, religiosos, ciganos etc.

O item *g* salienta que os cursos de formação de professores devem levar à discussão as questões atuais do mundo. Podemos supor que o PNE levanta a ideia de que os professores devem estar atentos aos acontecimentos que os norteiam e, principalmente, que sejam capazes de analisá-los e formar opiniões sobre eles. Mas não fica claro sob qual ponto de vista isto deve ser feito, qual o intuito dessa análise e como isso contribui para o processo de ensino e aprendizagem e para a própria formação profissional do professor.

O item *k* ressalta a importância do engajamento do professor com as questões político-pedagógicas da profissão docente. Mas a forma como deve ser o engajamento não é evidente. Um professor pode participar, mas não atuar efetivamente, meramente cumprindo as ordens de instâncias superiores.

Pela análise destes itens, é possível concluir que o PNE traz em seu corpo de objetivos o propósito de formar professores que não apenas conheçam suas especificidades, mas que possuam outros conhecimentos e outras atitudes, embora não as defina completamente.

Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica (DCN) – 2002

Como uma consequência do Plano Nacional de Educação, foi instituída pelo Conselho Nacional de Educação (CNE) no ano seguinte à sua publicação as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica (DCN) (BRASIL, 2002a). Essas diretrizes buscaram estabelecer um padrão para a estruturação dos cursos de formação de professores no país e, assim, atender aos princípios firmados pelo PNE no ano anterior.

O processo de elaboração e o conteúdo das DCN denotam pontos controversos. Para elaborá-las, o Ministério da Educação centralizou o trabalho em comissões, não deixando muito espaço para que educadores participassem e integrassem esse processo. As DCN trabalham, essencialmente, com uma proposta de flexibilização curricular, em que o professor é um profissional polivalente.

[...] o enfoque teórico desse modelo enfatiza uma concepção pedagógica centrada na flexibilização da formação; o profissional deve ter perfil flexível e apto a responder às rápidas mudanças do setor produtivo e suprir suas necessidades; assim como deve ser portador de características pessoais e sociais que lhe permitam se adequar à flexibilização da organização do mercado de trabalho. (SILVA, 2008, p. 175)

Segundo as DCN, a organização curricular de cada curso deve observar o preparo para:

- I. O ensino voltado à aprendizagem do aluno;
- II. O acolhimento e o trato da diversidade;
- III. O exercício de atividades de enriquecimento cultural;
- IV. O aprimoramento de práticas investigativas;

- V. A elaboração e a execução de projetos de desenvolvimento dos conteúdos curriculares;
- VI. O uso de tecnologias da informação e da comunicação e de metodologias, estratégias e materiais de apoio inovadores;
- VII. O desenvolvimento de hábitos de colaboração e de trabalho em equipe.

(BRASIL, 2002a, p. 1)

Em relação a seus projetos pedagógicos, os cursos de formação devem levar em conta algumas competências essenciais na formação, tais como:

- I. As competências referentes ao comprometimento com os valores inspiradores da sociedade democrática;
- II. As competências referentes ao papel social da escola;
- III. As competências referentes ao domínio dos conteúdos a serem socializados, aos seus significados em diferentes contextos e sua articulação interdisciplinar;
- IV. As competências referentes ao domínio do conhecimento pedagógico;
- V. As competências referentes ao conhecimento de processos de investigação que possibilitem o aperfeiçoamento da prática pedagógica;
- VI. As competências referentes ao gerenciamento do próprio desenvolvimento profissional.

(BRASIL, 2002a, p. 3)

Além destas competências, as DCN ressaltam que os cursos de formação de professores também devem incluir em seus currículos momentos que possibilitem a discussão de temas mais abrangentes e não somente específicos à área de formação, envolvendo questões sociais, culturais e econômicas. Isto contemplaria:

- Cultura geral e profissional;
- Conhecimentos sobre crianças, adolescentes, jovens e adultos, aí incluídas as especificidades dos alunos com necessidades educacionais especiais e das comunidades indígenas;

- Conhecimento sobre dimensão cultural, social, política e econômica da educação;
- Conteúdos das áreas de conhecimento que serão objeto de ensino;
- Conhecimento pedagógico;
- Conhecimento advindo da experiência.

(BRASIL, 2002a, p. 3)

Pelos trechos citados acima, podemos notar que as DCN transparecem ainda mais o discurso presente no PNE de eliminar os vestígios da formação de professores tradicional, calcada na separação explícita entre conteúdo e prática. Estas diretrizes indicam o propósito de formar professores mais aptos a entender o mundo ao redor e falar sobre ele adequadamente com os alunos. Da mesma forma, as DCN também procuram definir elementos que os projetos pedagógicos, os currículos e as atividades formativas devem incluir para embasar esta formação mais dinâmica e crítica. Isto é exemplificado, por exemplo, quando as DCN dizem que os cursos de formação devem incluir "atividades de enriquecimento cultural" e o "aprimoramento de atividades investigativas" ou que os professores devem conhecer a "dimensão cultural, social, política e econômica da educação". Tais aspectos não se enquadram em uma formação tradicional.

A concepção flexível dos currículos das licenciaturas carrega consigo a ideia do professor apto a lidar com as diferentes e complexas situações do ambiente escolar. Neste viés, o professor possui uma visão abrangente das questões educacionais, possuindo conhecimentos que vão além de sua formação específica.

Entretanto, a flexibilização dos currículos das licenciaturas pode ter aspectos bons e ruins. Bons porque o professor cada vez mais é cobrado a integrar o ambiente escolar como um todo, e não somente a sala de aula. Isto faz com que o professor deva também conhecer e saber e enfrentar contratempos de ordem pessoal por parte dos alunos, colegas de profissão, superiores etc. Ou seja, nesta concepção, o professor agrega à escola seus valores, sua postura ética, suas ideologias morais. Dessa forma, a formação de professores perde sua rigidez curricular e se alinha

mais proximamente ao novo mercado de trabalho, que "exige qualificação, audácia e disponibilidade para o aprendizado contínuo" (SILVA, 2008, p. 178).

Por outro lado, a flexibilização é ruim porque abre um imenso campo de possibilidades para os currículos das licenciaturas, que podem enfatizar muito mais um intuito de mercado que um projeto sociopolítico verdadeiramente.

[...] é necessário desmistificar e descaracterizar o discurso normativo pseudodemocrático das inovações educacionais que adentram os espaços formativos, pois as perspectivas do modelo de formação podem assumir diferentes propósitos; o que está em questão é o pressuposto de que a flexibilização curricular deveria responder não só a demandas mercadológicas, mas também a princípios de um projeto sociopolítico participativo, democrático e historicamente contextualizado, que incluía as demandas da realidade educacional do país. (SILVA, 2008, p. 199-200)

Dessa forma, as DCN devem ser tomadas como guias para a construção dos cursos de licenciatura e, conseqüentemente, do perfil do professor, mas uma reflexão ponderada é necessária, a fim de não tomar literalmente por base a proposta do texto. Um professor polivalente pode ser um perfil interessante, mas é preciso cuidado para não minar as áreas específicas e tornar o professor aquele que sabe de tudo um pouco, mas o pouco que sabe é o mesmo que nada.

Diretrizes Curriculares para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física (DCFísica) – 2002

Com a expansão do acesso ao ensino superior, em razão das políticas públicas em educação adotadas nos últimos anos, conseqüentemente ocorreu um aumento no número de cursos de Licenciatura em Física. Segundo dados³ do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais "Anísio Teixeira", em 2002, a rede pública de ensino superior mantinha 68 cursos de formação de professores de física,

³ O acesso a esses dados foi realizado em Fevereiro de 2010. Atualmente, o INEP não mantém estes dados para consulta *on line*. Para conferência, disponibilizo os dados referentes a 2002 e 2008 no Anexo 1.

sendo 29 somente na rede federal. Dados preliminares de 2008 mostram que esse número saltou para 139 – com 57 em instituições federais – praticamente dobrando em apenas seis anos, sem levar em conta os cursos existentes em instituições particulares e os cursos a distância. Para efeito comparativo, os cursos de Bacharelado em Física recuaram: em 2002 eram 60 cursos; em 2008 registrou-se 54.

A ampliação do número de cursos de Licenciatura em Física pode ser vista, a princípio, como algo extremamente positivo, uma vez que o aumento da oferta é um dos pré-requisitos para a maior presença de profissionais qualificados nessa área na educação básica. Entretanto, a relação entre aumento da oferta e melhoria do ensino de Física não é necessariamente verdadeira. Nesse sentido, o governo federal, no caminho traçado pelas Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, foi publicando em seguida as diretrizes para as diversas áreas das licenciaturas, incluindo a Física. Em Março de 2002, foram estabelecidas, por meio de uma resolução do Conselho Nacional de Educação, as Diretrizes Curriculares para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física (DCFísica).

As diretrizes foram baseadas no Parecer CNE/CES 1.304, aprovado em 06 de Novembro de 2001 (BRASIL, 2001b). Nesta análise, utilizarei este documento.

Segundo as DCFísica, o físico, independente da área de formação, deve

[...] ser um profissional que, apoiado em conhecimentos sólidos e atualizados em Física, deve ser capaz de abordar e tratar problemas novos e tradicionais e deve estar sempre procurando novas formas do saber e do fazer científico e tecnológico. Em todas as suas atividades a atitude de investigação deve estar sempre presente, embora associada a diferentes formas e objetivos de trabalho. (BRASIL, 2001b, p. 3)

Enfatizando um conhecimento comum para os profissionais de física, as diretrizes estabelecem em seguida quatro perfis diferentes para estes: físico-pesquisador, físico-educador, físico-tecnólogo, físico-interdisciplinar. Destaco a definição do segundo perfil:

Físico-educador: dedica-se preferencialmente à formação e à disseminação do saber científico em diferentes instâncias sociais, seja através da atuação no ensino escolar formal, seja através de novas formas de educação científica, como vídeos, “software”, ou outros meios de comunicação. **Não se aterá ao atual perfil da Licenciatura em Física, que está orientada para o ensino médio formal.** (BRASIL, 2001b, p. 3, grifo meu)

O trecho em destaque na citação acima revela um aspecto duvidoso das diretrizes: embora a resolução do Conselho Nacional de Educação diga explicitamente que está estabelecendo as “diretrizes curriculares para os cursos de bacharelado e licenciatura em física” (Brasil, 2002b, p. 1), os perfis delimitados não englobam efetivamente a licenciatura. O “físico-educador” que o documento cita não está, necessariamente, relacionado à docência no ensino médio. Este ponto fica ainda mais evidente quando o documento aborda os “módulos sequenciais”, que têm o intuito de discutir as ênfases de cada perfil de formação.

No caso desta modalidade [físico-educador], os sequenciais estarão voltados para o ensino da Física e deverão ser acordados com os profissionais da área de educação quando pertinente. Esses sequenciais poderão ser distintos para, por exemplo, (i) instrumentalização de professores de Ciências do ensino fundamental; (ii) aperfeiçoamento de professores de Física do ensino médio; (iii) produção de material instrucional; (iv) capacitação de professores para as séries iniciais do ensino fundamental. Para a licenciatura em Física serão incluídos no conjunto dos conteúdos profissionais, os conteúdos da Educação Básica, consideradas as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores em nível superior, bem como as Diretrizes Nacionais para a Educação Básica e para o Ensino Médio. (BRASIL, 2001b, p. 7)

A ideia de que a formação de professores de Física deve ser trabalhada com profissionais da área de educação “quando pertinentes” denota uma posição individualista e inadequada do que é a Licenciatura em Física.

Em outros trechos das diretrizes, a licenciatura é citada timidamente. Ao tratar das habilidades e competências específicas, o documento afirma que ao menos duas devem ser incluídas nesta área:

1. O planejamento e o desenvolvimento e diferentes experiências didáticas em Física, reconhecendo os elementos relevantes às estratégias adequadas;
2. A elaboração ou adaptação de materiais didáticos de diferentes naturezas, identificando seus objetivos formativos, de aprendizagem e educacionais.

(BRASIL, 2001b, p. 5)

O documento não é claro em dizer quais são estas experiências didáticas e como elas podem servir para melhorar o ensino de conceitos físicos. Além disso, o que seriam "estratégias adequadas"?

Em relação à vivência, as diretrizes mencionam apenas uma relacionada à Licenciatura em Física: a participação na “elaboração e desenvolvimento de atividades de ensino” (BRASIL, 2001b, p. 5). Com isso, a docência em Física parecer se reduzir a elaborar atividades didáticas para serem aplicadas em sala de aula.

A falta de um direcionamento delimitado e objetivo às licenciaturas em Física provavelmente é uma das causas para a divergência generalizada entre os perfis dos licenciados no país. Enquanto alguns cursos privilegiam a formação básica, a “física dura”, considerando a prática pedagógica como um mero complemento, outros enfatizam demasiadamente um perfil humanístico e flexível, descaracterizando o curso. As DCFísica, portanto, funcionam mais como um conjunto de dizeres que pouco abordam a problemática da Licenciatura em Física ou mesmo que a considere como uma formação diferenciada, que deve incluir as questões educacionais não como algo secundário, mas como parte integrante de um projeto político-pedagógico de curso.

Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE) – 2007

Enquanto o Plano Nacional de Educação (PNE) configurou-se mais como um diagnóstico que ação efetiva, o Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE) busca ser mais um "programa de ações" que um plano propriamente, atuando como "um grande guarda-chuva que abriga praticamente todos os programas em desenvolvimento pelo MEC" (SAVIANI, 2007, p. 1233). Aprovado em 2007, o PDE tem como um de seus principais temas a formação de professores, sinalizando, logo em seu início, para um "futuro sistema nacional público de formação de professores" (BRASIL, 2007, p. 16).

O PDE congregou ao menos duas iniciativas para a expansão e melhoria dos cursos de formação de professores no Brasil: a Universidade Aberta do Brasil (UAB) e o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI). Estas duas ações, de forma articulada, estão contribuindo para moldar as licenciaturas no país.

A Universidade Aberta do Brasil (UAB), instituída por decreto presidencial em 2006, foi criada principalmente para facilitar o acesso de estudantes ao sistema universitário público, formar professores e capacitar aqueles que não têm formação adequada para lecionar. Contando com o aporte das universidades federais participantes, a UAB agrega módulos à distância e presenciais – estes últimos ministrados em cidades "polos", geralmente localizadas no interior do país – e tutores, profissionais com curso superior formados na área que atuam. Atualmente, fazem parte da UAB 94 universidades e 637 municípios, que cedem locais para a realização dos módulos presenciais, oferecendo 985 cursos nas mais diversas áreas⁴. No caso específico da Física, são 26 cursos, que se dividem entre licenciatura, formação pedagógica e especialização, oferecidos em todas as regiões do país.

⁴ Dados do Portal da Universidade Aberta do Brasil, <http://www.uab.capes.gov.br>. Acessado em 08/2012.

A disponibilidade de dados estatísticos sobre como funcionam os cursos e quem são os alunos por eles formados ainda é escassa (SEGENREICH, 2009, p. 217), mas é sabido que implantar um curso de Licenciatura em Física não é trivial, uma vez que exige não só recursos humanos específicos como também infraestrutura dispendiosa. Sendo assim, não há informações sobre como os polos, situados em sua maioria em cidades pequenas do interior do país, estão se adequando a essa necessidade.

O REUNI por sua vez se configurou como uma iniciativa mais ambiciosa, do ponto de vista técnico. Enquanto a UAB procurou aproveitar os recursos existentes nas universidades e nos municípios participantes, o REUNI promoveu a reestruturação e expansão das universidades, destinando recursos financeiros para:

- I. Construção e readequação de infraestrutura e equipamentos necessários à realização dos objetivos do Programa;
- II. Compra de bens e serviços necessários ao funcionamento dos novos regimes acadêmicos; e
- III. Despesas de custeio e pessoal associadas à expansão das atividades decorrentes do plano de estruturação.

(BRASIL, 2007, p. 2)

Por meio dos recursos financeiros provenientes do REUNI, ocorreu no Brasil uma proliferação de oferta de cursos de formação de professores. Em 2002, por exemplo, as instituições federais de ensino superior ofereciam 2527 cursos de licenciatura para as áreas consideradas específicas, que envolvem Física, Química, Biologia, Geografia, História entre outras. Em 2008, apenas um ano após a implementação do REUNI, o número de cursos foi para 3418⁵. Isso sem levar em consideração os cursos criados na Universidade Aberta do Brasil.

⁵ Dados disponíveis no Anexo 1.

Contudo, como apontamos na Introdução desta tese, o aumento no número de cursos e de vagas não veio acompanhado da expansão necessária de corpo docente e de infraestrutura; e aqui balizo minha afirmação a partir da experiência pessoal como professor federal que ingressou por meio do REUNI. Além disso, e talvez o ponto mais grave, os projetos pedagógicos dos cursos foram escritos e implementados antes da chegada do corpo docente especializado. O que se viu foi a criação de licenciaturas em Física elaboradas a partir das concepções de pesquisadores em "Física dura" – que tiveram pouco ou nenhum contato com as questões envolvidas na formação de professores – ou mesmo de professores de cursinhos pré-vestibulares. Em outros casos, os cursos foram elaborados somente por pedagogos, filósofos e historiadores, sem a consulta de profissionais da área.

O ingresso dos novos professores por meio do REUNI permitiu, contudo, uma revisão dos projetos pedagógicos. Isto possibilitou a solução de muitas deficiências e distorções nos currículos, trazendo aos cursos uma visão diferenciada em relação àqueles já consolidados em universidades mais tradicionais. Sendo assim, o perfil de formação destes novos professores pretende ser diferenciado, mas, como a maioria deles ainda não concluíram o curso, ainda não há como medir e analisar as consequências e os resultados do programa.

Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN) – 1997/2002

Embora os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN) (BRASIL, 1999; 2002b) sejam direcionados à discussão dos conhecimentos e habilidades que os alunos de Ensino Médio devem adquirir, eles influenciam de forma indireta a formação de professores. Afinal, se é esperado que o aluno desenvolva uma ou outra habilidade ou competência, esta só poderá ser aprimorada se o professor estiver capacitado para tal.

O texto dos PCN é pautado nos conceitos de competências, interdisciplinaridade e contextualização. Listando uma série de competências e habilidades que o aluno deve aprender em Física, os PCN se configuram como uma orientação aos

currículos, a fim de tornar o processo de ensino e aprendizagem mais dinâmico, interdisciplinar e integrador.

Os PCN dividem as competências e habilidades a serem aprendidas pelos estudantes em três áreas: representação e comunicação, investigação e compreensão e contextualização sociocultural. Nesta última, por exemplo, os PCN colocam que o estudante deve compreender o conhecimento físico como um processo histórico, "em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época" (BRASIL, 2002b, p. 67). Ainda nesta área, os PCN abordam a necessidade do estudante de compreender questões éticas relacionadas ao desenvolvimento científico:

Reconhecer, em situações concretas, a relação entre Física e ética, seja na definição de procedimentos para a melhoria das condições de vida, seja em questões como do desarmamento nuclear ou em mobilizações pela paz mundial. (BRASIL, 2002b, p. 68)

Na área de investigação e compreensão, por exemplo, os PCN tratam da visão interdisciplinar que o aluno deve possuir ao estudar um fenômeno:

Reconhecer, na análise de um mesmo fenômeno, as características de cada ciência, de maneira a adquirir uma visão articulada dos fenômenos. Por exemplo, no ciclo da água, compreender que a Física revela os aspectos das transformações de estado e processos de circulação, enquanto a Química trata das diferentes reações e do papel das soluções, enquanto a Biologia analisa a influência nas cadeias alimentares e o uso do solo. (BRASIL, 2002b, p. 67)

Os trechos acima indicam que há um propósito de fazer com que a Física seja ensinada como um empreendimento humano e ligado a questões sociais e culturais. Portanto, espera-se que o aluno egresso do Ensino Médio seja capaz de compreender a Física como parte da humanidade. Logo, isto remete ao professor que formará o caminho para isso. Se o professor não compreende a Física deste modo, o ciclo é rompido e o objetivo não é alcançado.

A partir destas competências e habilidades, os PCN trabalham com o conceito de temas estruturadores, que representam as possíveis formas de organizar os

currículos e desenvolver estas competências e habilidades. Foram descritos seis temas:

1. Movimentos: variações e conservações;
2. Calor, ambiente e usos de energia;
3. Som, imagem e informação;
4. Equipamentos elétricos e telecomunicações;
5. Matéria e radiação;
6. Universo, Terra e vida.

(BRASIL, 2002b, p. 71)

Dentro de cada um desses temas, há diversas unidades temáticas, que abordam questões mais específicas do tema geral. Por fim, os PCN traçam possibilidades de abordagem destes temas nos currículos, sugerindo sequencias de trabalho dos temas para as três séries do ensino médio.

Os trechos dos PCN citados acima são alguns exemplos para mostrar o caráter inovador que estes pretendem imprimir nos currículos do ensino médio. Embora não tenha efeito de lei⁶, os PCN acabam por buscar uma nova definição de currículo, o que influencia indiretamente a formação de professores.

A inclusão do termo "competências" no PCN provocou muitas críticas no meio acadêmico, por não deixar claro o que realmente significava. Segundo uma pesquisa feita com os autores do texto, a opção de trabalhar sob o viés de habilidades e competências surgiu a partir do entendimento de "que esse discurso expressava, em linhas gerais, a necessidade de colocar em discussão não só o que ensinar, mas também como fazê-lo" (RICARDO e ZYLBERSZTAJN, 2008, p. 260). A relação entre

⁶ Em Agosto de 2012, contudo, o Ministério da Educação apresentou uma nova proposta de currículo, baseada inequivocamente nos PCN. Pela proposta, as disciplinas seriam agrupadas em quatro grandes áreas do conhecimento, idênticas àquelas presentes nos PCN: ciências humanas e suas tecnologias, ciências da natureza e suas tecnologias, linguagem, códigos e suas tecnologias e matemática e suas tecnologias.

competências e habilidades também não ficou aparentemente clara para os autores do PCN (Idem, p. 264).

Em relação aos outros dois elementos norteadores dos PCN – contextualização e interdisciplinaridade – os autores dos parâmetros também apresentam opiniões e argumentos diversificados (Idem, p. 265-68). Isso indica que, embora o documento busque apresentar uma proposta inovadora, as bases nas quais ele se sustenta são complexas e com diversas possibilidades de interpretação. Provavelmente, isso tenha levado a pouca assimilação do documento pelos professores e pelas escolas. Como apontam Ricardo e Zylbersztajn (2008, p. 258):

Uma das principais dificuldades para que as mudanças sugeridas tanto nas DCNEM [Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio] como nos PCN cheguem na sala de aula é a pouca compreensão que os professores têm acerca de temas fundamentais presentes nesses documentos, notadamente, um currículo estruturado por competências, a interdisciplinaridade e a contextualização.

Outra pesquisa realizada pelos mesmos autores, desta vez com formadores de professores nas áreas de Física, Química, Biologia e Matemática, reforça a dificuldade em entender a proposta dos PCN e levar o documento à discussão nos cursos de formação (RICARDO e ZYLBERSZTAJN, 2007). Pela pesquisa, os autores concluíram que os formadores também apresentaram diversas interpretações para os conceitos de competência – talvez o mais controverso –, contextualização e interdisciplinaridade.

Os resultados da pesquisa de Ricardo e Zylbersztajn (2007) indicaram que os formadores possuem opiniões diversas sobre o documento, por um lado alguns o considerando uma ótima iniciativa, por outro, alguns o entendendo como uma forma de pressão de órgãos superiores. De formas variadas, os formadores afirmaram que discutem os PCN com seus alunos.

Estas questões relativas aos PCN apontam, sob uma perspectiva, para uma nova visão de currículo, de professor e de aluno, mas sob outra, para a dificuldade de transformar o discurso em prática, principalmente pelos diferentes tipos de

interpretação que seu conteúdo pode ter. É fato que muitos têm se apoiado no discurso dos PCN para afirmar que estão abraçando um novo modelo de ensino; basta verificar que muitos livros didáticos atuais estampam em suas capas dizeres como "De acordo com os PCN". No entanto, é preciso que os professores não meramente se adaptem à proposta do texto, mas que, ao concordarem ou não com ele, saibam o porquê.

Outras iniciativas: o PIBID e o PARFOR

Atrelado a estes documentos e políticas oficiais para a Educação, destaco brevemente duas iniciativas que têm recentemente desempenhado um importante papel na formação de professores.

O Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID) é um projeto da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que objetiva introduzir o aluno da licenciatura no ambiente escolar já no início da graduação. O programa também oferece bolsas para os professores das escolas participantes – que atuam como supervisores dos licenciandos – e para os docentes universitários, que coordenam projetos individuais em áreas específicas.

O PIBID tem contribuído para aproximar a escola da universidade e promover a licenciatura, incentivando o estudante a permanecer no curso e atuar diretamente com a docência. É importante salientar que o PIBID não deve ser entendido como um estágio antecipado, mas como um projeto que engloba uma vivência mais dinâmica do aluno no ambiente escolar. Com isso, pretende-se que o licenciando conheça melhor seu futuro ambiente de trabalho e a própria área de pesquisa em Educação. O programa ainda dá seus primeiros passos, mas percebe-se um incentivo cada vez maior para que ele se expanda e se torne um referencial nos cursos de formação de professores.

O Plano Nacional de Formação de Professores da Educação Básica (PARFOR) também é coordenado pela CAPES, desta vez em parceria com as secretarias de

educação dos estados e do Distrito Federal. Neste plano, o objetivo principal é garantir que os professores em exercício tenham a formação exigida para as disciplinas que lecionam, por meio da implantação de turmas especiais nas universidades e de cursos de especialização. O PARFOR tem mobilizado os docentes universitários a trabalhar não somente com a formação inicial, mas também com a formação continuada de professores.

1.2. As bases para a construção da concepção de formação crítico-transformadora

A partir dessa breve análise das ações públicas para a Educação no Brasil, é possível perceber que a formação de professores se dá em um cenário complexo, com propostas diversificadas e pontos de vista distintos sobre qual professor se espera e quais conhecimentos ele deve ter. Nesse sentido, a postura e visão críticas do licenciando em Física configuram-se como peças-chave para uma compreensão mais clara desse cenário, à medida que o futuro professor não simplesmente se adapte ao contexto vigente como um ser passivo e alheio, mas que saiba atuar sobre ele sob o viés da criticidade e discernimento.

A concepção de formação crítico-transformadora que discutirei neste capítulo busca fomentar o conceito de que a formação inicial de professores de Física deve não somente desenvolver uma percepção crítica dos licenciandos, mas construir uma atitude transformadora, que busque a ação como forma de mudar o que considera errado. Dizer, contudo, que esta formação é necessária não é suficiente, pois é fundamental que se explore os elementos que fazem parte dela.

A construção dos elementos que fazem parte da formação crítico-transformadora foi fundamentada em três pilares principais: o professor como intelectual transformador, a Física como elemento cultural e o cidadão como ser integrante da realidade que vive. Para isso, utilizei os seguintes referenciais teóricos: Freire (1996;

2005; 2011), Giroux (1992), Zanetic (1989, 2009) e Zabala (2002), tendo como interlocutores outro conjunto de referenciais.

A escolha destes três pilares deve-se ao fato de que não é possível dissociar o indivíduo protagonista de cada um deles; todos têm o professor como seu ator principal. Ao abordarmos um perfil de professor, não podemos ignorar quais conhecimentos este professor deve ensinar e quais elementos devem fazer parte de sua conduta como cidadão, e assim sucessivamente. A interseção entre o perfil de professor, a Física a ser ensinada e o modelo de cidadão fornecem os contornos necessários para construir a concepção de formação crítico-transformadora que defendo para a formação inicial de professores de Física.

1.2.1. O professor como intelectual transformador

Ser professor não é uma tarefa trivial. Além de se preocupar com o processo de ensino e aprendizagem, o professor deve dar conta do complexo ambiente da sala de aula, que envolve trabalhar com seres humanos diferentes e, a princípio, imprevisíveis. Por esta razão, cada sala de aula e cada situação didática são únicas temporal e espacialmente, pois nunca se repetirão exatamente em outro momento ou contexto.

A etapa anterior, o "tornar-se" professor, abrange da mesma forma uma série de intrincadas questões. O licenciando deve se colocar agora do outro lado da sala e enfrentar os problemas que antes lhe eram alheios enquanto alunos. Além disso, deve se libertar das concepções de senso comum sobre docência, provavelmente assimiladas a partir da observação de seus professores na escola. Como apontam Bejarano e Carvalho (2003, p. 2):

É certo então, que os licenciandos quando chegam aos cursos de licenciatura, trazem essas imagens vivas do trabalho do professor, que raramente se alinham com as orientações desses programas de formação

inicial, que se inspiram nos desejos atuais da reforma do ensino de ciência, enquanto que as crenças dos licenciandos, no geral, foram cunhadas num contexto de ensino tradicional.

A análise dos documentos oficiais realizada anteriormente ressalta o grande número de responsabilidades, posturas e conhecimentos que o professor deve ter e saber lidar, a fim de promover um ensino mais democrático, dinâmico e inovador. Nesse sentido, a formação de professores deve proporcionar ao licenciando não a aceitação sumária deste panorama, mas fornecer subsídios para que possa analisá-lo e compreendê-lo com um olhar mais apurado e crítico.

Nesta tese, parto da premissa de que o perfil de professor a ser promovido é o de intelectual transformador. Este perfil alinha-se aos pressupostos trabalhados de modo mais geral por Freire (1996; 2005; 2011) e de maneira mais específica por Giroux (1992). Discutirei estes dois referenciais a seguir.

A educação como prática da liberdade de Paulo Freire

Paulo Freire plantou no contexto educacional uma concepção de educação como libertadora dos homens oprimidos. Para Freire, não existe uma dicotomia entre ensino e aprendizagem, pois tanto educador quanto educando aprendem e ensinam, não sendo um objeto do outro. Por esta razão, segundo o autor, o professor não pode se colocar na posição de o mais conhecedor, aquele que irá transmitir um conjunto de conhecimentos prontos ao estudante, mas de sujeito que, *com* o estudante e mediatizados pelo mundo, aprende e ensina ao mesmo tempo.

Em seu *Pedagogia do Oprimido* (FREIRE, 2005), Paulo Freire apresenta e discute a concepção "bancária" de ensino. Fazendo uma alusão a uma atividade comum aos bancos, o autor afirma que nessa visão de ensino, o educando é encarado como um mero receptor de conhecimentos, vindos de um agente que se julga sábio, o educador. O ensino é transferência de saber do educador para o educando. A aprendizagem é o recebimento deste saber do educador pelo educando.

Freire (2005) afirma que esta concepção "bancária" da educação acaba por minar qualquer desejo criativo dos educandos, colocando-os na posição de oprimidos, que devem se adaptar aos mandos e desmandos dos opressores. Estes, por sua vez, só fazem por reforçar o método, uma vez que qualquer percepção crítica por parte dos oprimidos poderia ameaçar seu poder e posição dominantes.

Em outro texto, o *Extensão ou Comunicação?*, Paulo Freire argumenta que o processo educacional como uma simples transmissão passiva de conhecimentos é uma invasão cultural, em que "o invasor prescreve; os invadidos são pacientes da prescrição" (FREIRE, 2011, p. 49). O autor critica o excesso de descrença em relação aos educandos, argumentando que esta é resultado de um pré-conceito baseado em opiniões vazias e demasiadamente pessimistas sobre os homens.

Para que os homens simples sejam tidos como absolutamente ignorantes, é necessário que haja quem os considere assim. (FREIRE, 2011, p. 57)

Ademais, Freire (2005; 2011) salienta que a falta de diálogo é um forte impeditivo para uma prática libertadora da educação. Nesta teoria antidialógica, o professor se coloca como um ser superior, dono de verdades absolutas, que deve cumprir seu papel de benfeitor ao aceitar repassar seus conhecimentos aos ignorantes. Isto é, para o autor, a base da educação opressora e "bancária".

Ao contrário, Freire (2005; 2011) defende uma educação dialógica e problematizadora, que comunica ao invés de impor, que desenvolva o pensar crítico.

A educação é comunicação, é diálogo, na medida em que não é a transferência de saber, mas um encontro de sujeitos interlocutores que buscam a significação dos significados. (FREIRE, 2011, p. 91)

Nessa concepção o professor atua ao lado do aluno por meio de um diálogo para compreender o mundo. A partir desse ato de se comunicar, e não de repassar, professor e aluno constroem uma compreensão crítica e significativa do mundo, libertando-se, em comunhão, de ideias e posturas opressoras.

O desenvolvimento de uma percepção crítica é, assim, um dos cerne do trabalho de Paulo Freire. O professor, para ele, deve se colocar na posição de integrante

daquilo que ensina, e não externo a ele. Nesse sentido, o aluno não é o mero receptor, mas aquele com quem o professor interage a fim de construir significados. Sob este pressuposto, o homem é visto "como um ser da transformação do mundo" (FREIRE, 2011, p. 101).

Paulo Freire entende que o papel do professor é problematizar o conhecimento, e não repassá-lo ao aluno. Ao encarar as manifestações do mundo como problemas a serem enfrentados, professor e aluno desenvolvem, por meio do diálogo, uma compreensão mais crítica dele. Esta percepção crítica pode levar à transformação do próprio mundo.

Sendo assim, a problematização é um elemento central na perspectiva do desenvolvimento de uma formação crítica e transformadora, dentro do viés da educação como prática da liberdade. Ver os fenômenos do mundo como problemas a serem enfrentados fornece os subsídios para o aprimoramento do raciocínio, da inteligência e de uma visão mais aberta e integradora.

O importante, do ponto de vista de uma educação libertadora, e não "bancária", é que, em qualquer dos casos, os homens se sintam sujeitos de seu pensar, discutindo o seu pensar, sua própria visão do mundo, manifestada implícita ou explicitamente nas suas sugestões e nas de seus companheiros. (FREIRE, 2005, p. 139)

No sentido do professor como um transformador e problematizador, Freire aborda em seu *Pedagogia da Autonomia* (FREIRE, 1996) um conjunto de saberes necessário para essa prática docente. O autor afirma que um dos pontos capitais na formação de um professor deve ser o desapego a posturas fatalistas sobre Educação. Assumir, por exemplo, que não se pode lutar contra um sistema educacional retrógrado é renegar a função mais básica de um professor, que deve, pelo contrário, incentivar a crítica, a ética e a luta pelo cumprimento dos direitos e deveres de cada cidadão.

Outro elemento fundamental já mencionado é a noção de que "ensinar não é transferir conhecimento" (FREIRE, 1996, p. 22). Neste famoso trecho, o autor

argumenta que o papel do professor é criar o caminho para que o conhecimento possa ser construído:

É preciso que, pelo contrário, desde o começo do processo, vá ficando cada vez mais claro que, embora diferentes entre si, quem forma se forma e re-forma ao formar e quem é formado forma-se e forma ao ser formado. É neste sentido que ensinar não é transferir conhecimentos, conteúdos, nem *formar* é ação pela qual um sujeito criador dá forma, estilo ou alma a um corpo indeciso e acomodado. Não há docência sem discência, as duas se explicam e seus sujeitos, apesar das diferenças que os conotam, não se reduzem à condição de objeto, um do outro. Quem ensina aprende ao ensinar e quem aprende ensina ao aprender. (FREIRE, 1996, p. 23)

Outro saber necessário é a corporeificação do discurso em exemplos reais. Não basta que o professor diga ser ético e honesto ou assuma uma postura ideológica. É preciso que sua palavra seja coerente com suas ações.

Não há pensar certo fora de uma prática testemunhal que o re-diz em lugar de desdizê-lo. Não é possível ao professor pensar que pensa certo mas ao mesmo tempo perguntar ao aluno se "sabe com quem está falando". (FREIRE, 1996, p. 35)

Segundo Freire (1996), um dos atributos necessários à prática docente é a criticidade. O professor deve sempre buscar superar uma curiosidade ingênua, transformando-a por meio da visão crítica em uma curiosidade epistemológica, segundo Freire. Em outros termos, é fundamental que o professor saiba olhar para um conceito de senso comum por meio de uma lente crítica.

Para Freire (1996), ensinar também exige consciência do inacabamento, ou seja, de que ainda é possível aprender coisas diferentes, ainda não experimentadas. Por essa razão, também é fundamental o exercício da curiosidade, pois "sem a curiosidade que me move, que me inquieta, que me insere na busca, não aprendo nem ensino" (Idem, p. 85). Ensinar também exige comprometimento, a compreensão de que educar é intervir no mundo. Por fim, ensinar exige bom senso.

O meu bom senso não me diz o que é, mas deixa claro que há algo que precisa ser sabido. Esta é a tarefa da ciência que, sem o bom senso do cientista, pode se desviar e se perder. Não tenho dúvida do insucesso do cientista a quem falte a capacidade de adivinhar, o sentido da desconfiança,

a abertura à dúvida, a inquietação de quem não se acha demasiado certo das certezas. Tenho pena e, às vezes, medo, do cientista demasiado seguro da segurança, senhor da verdade e que não suspeita sequer da historicidade do próprio saber. (FREIRE, 1996, p. 63)

A reflexão sobre a prática é, segundo Freire (1996), um dos outros saberes necessários à docência. O autor argumenta que "na formação permanente dos professores, o momento fundamental é o da reflexão sobre a prática" (1996, p. 39), ou seja, é importante que os professores, no processo de construção de suas identidades docentes se confrontem com seus métodos, suas posturas e suas ideologias de ensinar e aprender, a fim de que fiquem conscientes dos caminhos que estão traçando em sala de aula. Para exemplificar a importância desse momento, Freire (1996) faz uma associação com o desejo de parar de fumar:

Seria porém, exagero idealista afirmar que a assunção, por exemplo de que fumar ameaça minha vida já significa deixar de fumar. Mas deixar de fumar passa, em algum sentido, pela assunção do risco que corro ao fumar. Por outro lado, a assunção se vai fazendo cada vez mais assunção na medida em que ela engendra novas opções, por isso mesmo em que ela provoca ruptura, decisão e novos compromissos. Quando assumo o mal ou os males que o cigarro me pode causar me movo no sentido de evitar os males. Decido, rompo, opto. Mas, é na prática de não fumar que a assunção do risco que corro por fumar se concretiza materialmente. (FREIRE, 1996, p. 40)

O ato de refletir sobre a própria prática se constitui no momento em que o professor pensa sobre si mesmo enquanto educador. Ao reconhecer os erros, os acertos, as dificuldades, o professor vai construindo uma visão crítica de sua prática, transformando-a.

As ideias de Paulo Freire contribuem para estruturar um perfil de professor que não apenas se entende como educador, mas que seja capaz de se transformar. O educador libertador (ou libertado) de Freire traz consigo elementos de uma postura crítica, mas ao mesmo tempo transformadora. Nesse caminho, a concepção de Giroux (1992) do professor como intelectual transformador vem para consolidar o perfil de professor que baliza a formação crítico-transformadora.

O intelectual transformador de Henry Giroux

Henry Giroux trabalha na vertente da pedagogia crítica e defende que os educadores radicais devem construir seus argumentos a partir de três bases: a consideração do professor como um intelectual transformador, a escola como esfera de oposição e a pedagogia radical como uma forma de política cultural. Giroux entende que a escola não deve ser dissociada de questões de poder e democracia e que os professores, agindo como intelectuais transformadores, podem atuar para evitar este rompimento. A partir desses três pontos, o autor faz uma extensa crítica ao modelo da racionalidade técnica presente nos cursos de formação de professores e ao que ele denomina de "proletarização do magistério".

Segundo Giroux (1992), o trabalho dos professores tem se submetido às amarras de especialistas que não têm vivência em sala de aula ou foram removidos dela. Isto faz com que a pedagogia se reduza à implementação de taxonomias, de regras prontas a serem cumpridas, como se o processo de ensino e aprendizagem fosse puramente mecânico e estéril. Nesse sentido, o autor argumenta que o professor cumpre um mero papel de escriturário, "que executa ordens de outros dentro da burocracia escolar" (GIROUX, 1992, p. 9).

Nesse modelo behaviorista de educação, o professor tem seu trabalho intelectual crítico solapado pela pressão por uma padronização do conhecimento. Giroux (1992) argumenta que os cursos de formação de professores não preparam o licenciando para a realidade escolar, considerando-os como soldados que recebem ordens de generais e são mandados à guerra com os olhos vendados.

Ao invés de ajudar o estudante a pensar quem é, sobre o que deve fazer na sala de aula, sobre suas responsabilidades no questionamento dos meios e fins de uma política escolar específica, os alunos são frequentemente treinados para compartilhar técnicas e para dominar a disciplina da sala de aula, para ensinar um assunto eficientemente e organizar o melhor possível as atividades diárias. (GIROUX, 1992, p. 14)

Giroux (1992) afirma que essa tendência em reduzir o trabalho e o pensamento crítico do professor se configura no que ele chama de "pedagogias gerenciais".

Nesse modelo, a Educação é vista como mercado, em que os alunos são consumidores e os professores vendedores. Isso leva, entre outras coisas, ao estreitamento dos currículos e à divisão das áreas, facilitando o consumo.

[...] o estreitamento das opções curriculares a um formato básico e a introdução de passos sequenciais rígidos fazem com que se trabalhe a partir de uma concepção pedagógica falsa, segundo a qual todos os alunos podem aprender a partir dos mesmos materiais, pedagogias e formas de avaliação. Ignora-se o fato de que os alunos provêm de diferentes contextos e incorporam diferentes experiências, práticas linguísticas, culturas e talentos. (GIROUX, 1992, p. 19)

A partir dessa crítica, Giroux (1992) aborda a necessidade de conceber o professor como intelectual transformador, à medida que entende a presença do pensamento em toda atividade humana. Segundo ele, os cursos de formação de professores têm deixado de lado esse papel de educá-los como intelectuais, principalmente por estarem submetidos a uma concepção tecnocrática de educação.

Em outro trabalho, Giroux (1997) discorre sobre quais devem ser os novos papéis desses professores intelectuais:

[...] os professores enquanto intelectuais precisarão reconsiderar, e possivelmente, transformar a natureza fundamental das condições em que trabalham. Isto é, os professores devem ser capazes de moldar os modos nos quais o tempo, espaço, atividade e conhecimento organizam o cotidiano nas escolas. Mais especificamente, a fim de atuarem como intelectuais, os professores devem criar a ideologia e condições estruturais necessárias para escreverem, pesquisarem e trabalharem uns com os outros na produção de currículos e repartição do poder. Em última análise, os professores precisam desenvolver um discurso e conjunto de suposições que lhes permita atuarem mais especificamente como intelectuais transformadores. (GIROUX, 1997, p. 29)

A ideia do professor como intelectual transformador é a base da argumentação de Giroux (1992). Para esclarecê-la, o autor recorre às ideias de Antonio Gramsci. Na concepção deste último, todos os homens e mulheres são intelectuais, uma vez que pensam e possuem uma visão específica do mundo. Entretanto, poucos assumem esse papel no meio social.

Assim como os não educadores, os educadores desempenham funções sociais diferentes. Segundo ele, há quatro perfis de educadores como intelectuais, dependendo de sua função social:

- Intelectual crítico;
- Intelectual adaptado;
- Intelectual hegemônico;
- Intelectual transformador.

Giroux (1992) alerta que essas categorias não são fixas, sendo que os professores podem caminhar por elas dependendo do contexto e das circunstâncias.

O *intelectual crítico* é aquele que concebe a crítica, mas se omite no momento da transformação, ou por não se achar capaz ou por considerar que a sociedade está totalmente administrada e não teria qualquer influência sobre ela. Estes intelectuais entendem a crítica como uma parte inerente aos seus *status* profissional e se contentam em simplesmente apontar as mazelas do mundo. Entretanto, "esquecem-se de que a emancipação não pode ser conseguida do lado de fora" (GIROUX, 1992, p. 37).

O *intelectual adaptado* atua como sustentador da sociedade dominante e dos grupos de elite. Sob a crença de ser neutro, este intelectual denuncia a política, mas não quer correr riscos. O problema é que além de não perceber a potencialidade do seu argumento, este intelectual acaba por contribuir para massificar a estrutura dominante, reproduzindo e mediando "acriticamente, ideias e práticas sociais que servem para reproduzir o **status quo**" (GIROUX, 1992, p. 37).

Por sua vez, o *intelectual hegemônico* está totalmente subordinado pela ordem vigente. Para este intelectual, não há controle algum do processo educacional. Giroux (1992, p. 38) argumenta que "esse estrato de intelectuais fornece, às várias facções das classes dominantes, a homogeneidade e a consciência de suas funções éticas, políticas e econômicas". O autor ressalta, contudo, que nem sempre o professor pode ser enquadrado somente nesta categoria. As relações de trabalho,

muitas vezes, fazem com que os educadores ora se coloquem como seres atuantes ora como dominados.

O *intelectual transformador* é, para Giroux (1992), aquele que tem a função de tornar o pedagógico mais político e o político mais pedagógico. Com a primeira, o autor aborda a necessidade de inserir a Educação diretamente na esfera política, considerando que:

[...] a escolarização, a reflexão crítica e a ação tornam-se parte fundamental de um projeto social para ajudar os alunos a desenvolverem uma profunda e inabalável fé no combate para vencer as injustiças e mudarem a si próprios. (GIROUX, 1992, p. 32)

Nessa perspectiva, os professores devem fornecer subsídios aos estudantes a fim de que estes também se concebam como parte integrante do mundo. Ao assumir a escola como local de desenvolvimento de uma percepção política mais crítica, o professor contribui para o enriquecimento e aperfeiçoamento intelectual de seus alunos.

Por outro lado, tornar o político mais pedagógico significa utilizar formas de pedagogia que: tratem os estudantes como agentes críticos, problematizem o conhecimento, utilizem o diálogo e tornem o conhecimento significativo, de tal modo a fazê-lo crítico para que seja emancipatório. Em parte, isso sugere que os intelectuais transformadores atentem seriamente para a necessidade de dar aos alunos voz ativa em suas experiências de aprendizagem [...]. (GIROUX, 1992, p. 33)

Giroux (1992) abraça nesse sentido muitas concepções de Paulo Freire, no propósito de considerar os educadores como promotores não só de uma visão crítica, mas de uma postura transformadora. O professor intelectual transformador não é somente aquele que transfere acriticamente um conhecimento, mas que proporcione os meios para que ele possa ser construído, modificado, analisado sob um olhar crítico. As situações de ensino, dessa forma, não se resumem ao espaço reduzido da sala de aula, mas abrangem a escola como um todo, em que ela desempenha um papel social e político fundamental para a sociedade.

Os intelectuais transformadores precisam desenvolver um discurso que una a linguagem da crítica e a linguagem da possibilidade, de forma que os educadores sociais reconheçam que podem promover mudanças. (GIROUX, 1997, p. 163)

Ao possibilitar que os estudantes tenham voz ativa, o professor intelectual transformador confirma o capital cultural que dá significado às vidas dos estudantes, ajudando "a estabelecer as condições pedagógicas nas quais [eles] se expressam" (GIROUX, 1992, p. 47-8).

Também significa propiciar outras experiências culturais e formas de conhecimento como parte da necessidade de apropriá-las criticamente, de tal maneira a ajudar os estudantes a desenvolver as habilidades, os valores e o senso de responsabilidade de que precisam para se tornarem cidadãos criativos, críticos e éticos. (Idem, p. 48).

O discurso combinado da educação libertadora de Freire (1996; 2005; 2011) e o intelectual transformador de Giroux (1992) estabelecem o modelo de professor que a formação crítico-transformadora tem como propósito consolidar: um professor que seja crítico, que reflita sobre a própria prática, utilizando estes elementos para transformar a escola, o ensino, os alunos e a Educação como um todo.

1.2.2. A Física como elemento cultural

A Física é uma construção essencialmente humana. Por isso, assim como outras produções humanas, é parte de uma cultura maior, de um arcabouço de conhecimentos que dá significado à humanidade, que faz dela presente como elemento do mundo. Nesse sentido, partilho da concepção defendida por Zanetic (1989) ao dizer que "Física também é Cultura".

A Cultura é entendida muitas vezes apenas como manifestações artísticas, tais como a pintura, a escultura, a música, o teatro. Por uma outra perspectiva, Cultura

também é entendida como o conjunto de particularidades de um povo, suas crenças, festas e lendas. Santos (2010, p. 49) complementa dizendo:

Cultura é com frequência tratada como um resíduo, um conjunto de sobras, resultado da separação de aspectos tratados como mais importantes da vida social.

Nesta discussão, atribuo à Cultura um tom mais geral, associando-a a uma construção histórica, produto coletivo da humanidade. A Cultura inclui todo o conhecimento de uma sociedade e a forma como ele é externado. "É uma dimensão dinâmica, criadora, ela mesma em processo, uma dimensão fundamental das sociedades contemporâneas" (SANTOS, 2010, p. 50).

Por incluir todo o conhecimento e a forma como ele é expressado, a Cultura também abarca o conhecimento físico. A Física, nessa perspectiva, deve ser tratada como elemento cultural da sociedade, e não à parte dela. Como aponta Zanetic (1989), esta não é uma realidade recorrente:

Infelizmente, um cidadão contemporâneo médio (ou seja, igual a todos nós) é ensinado durante sua vida escolar que a ciência é uma matéria esotérica, que não tem nada a ver com a vida atual das pessoas, que não faz parte da bagagem cultural. (ZANETIC, 1989, p. 146)

A Física que queremos ensinar é aquela que se insere nos contextos sociais, culturais, políticos e econômicos de um povo. Esta Física se configura como elemento cultural, produzido por indivíduos como todos nós e influenciado por suas crenças, valores, ideologias e épocas de vida.

Certamente uma física que envolva as emoções, as idas e vindas das grandes ideias geradoras presentes nos problemas cruciais, o uso do discurso racional, o papel do discurso e conceituação tidos por mágicos, as ideias fantásticas dos pensadores científicos que construíram as grandes teorias que já dominaram ou ainda dominam o cotidiano dos físicos, enfim, toda essa física é incomparavelmente mais viva que a física essencialmente formal, a-histórica, recheada de exercícios, distante, quer de uma cultura popular, quer de uma cultura científica, parte integrante da vida inteligente contemporânea. (ZANETIC, 1989, p. 61-2)

Sob este viés, João Zanetic faz uma defesa contundente por uma aproximação entre Física e Cultura, especialmente a Literatura. Para o autor, a Física não pode ser dissociada da sociedade – e, portanto, de sua cultura –, pois faz parte dela, influenciando-a e sendo influenciada.

[...] o ensino de física não pode prescindir [...] da conceituação teórica, da experimentação, da história da física, da filosofia da ciência e de sua ligação com a sociedade e com outras áreas da cultura. Isso favoreceria a construção de uma educação problematizadora, crítica, ativa e engajada na luta pela transformação social. (ZANETIC, 2005, p. 21)

Nesta fala de Zanetic (2005), encontram-se relações com a visão problematizadora e crítica da Educação advindas do pensamento freireano. À medida que ilustra a Física como construção humana e, por conseguinte, imersa em contextos históricos, sociais e culturais, a compreensão do conhecimento físico como parte da Cultura forma caminhos para uma visão transformadora sobre a Educação.

Para Zanetic (2006, p. 41), "a física deve participar da formação cultural do cidadão contemporâneo, independente das eventuais diferenças de interesses individuais e das mais variadas motivações acadêmicas/profissionais". Sendo assim, o entendimento da Física como elemento cultural não é imprescindível somente àqueles que pretendem se dedicar à área, mas a todos os cidadãos e cidadãs do mundo. Assim como é importante que estes leiam, estudem e conheçam obras literárias, por exemplo, também é essencial compreender o conhecimento físico, uma vez que este está envolto pela sociedade em que vive. Zanetic (2009) destaca que a associação entre Física e Cultura possibilita um diálogo inteligente com o mundo, à medida que instiga a curiosidade e desperta o sentimento de que o conhecimento pode levar a uma emancipação do ser humano.

Na concepção de Zanetic (2009), uma das maneiras de efetivar a aproximação entre Física e Cultura é a partir do estudo de elementos da História e Filosofia da Ciência:

[...] podemos dizer que a formação cultural de qualquer pessoa ficará enriquecida se o ensino de ciências levar em consideração elementos da história e filosofia da ciência, dos estudos sociais da ciência e do relacionamento desta com outras áreas do conhecimento, em particular a literatura. (ZANETIC, 2009, p. 288)

O autor afirma que o estudo das questões históricas e filosóficas da Ciência (e da Física, em particular) denota o quanto está atrelada às dimensões sociais e culturais da sociedade. A Física se relaciona com a Cultura porque são indissociáveis, uma vez que a construção do conhecimento físico – assim como a construção do conhecimento musical, artístico, filosófico etc. – faz parte da atividade humana e das crenças nela imbuídas.

Entretanto, o entendimento da Física como parte da Cultura não encontrou lugar ao longo da História do Ensino de Física no Brasil. Essa história mostra uma trajetória turbulenta, com algumas propostas inovadoras, mas dominada em grande parte por uma visão tradicional de ensino, calcada no pragmatismo (ALMEIDA JR, 1979; 1980; MOREIRA, 2000). Atualmente, contudo, é possível dizer que uma noção mais abrangente de que o tradicionalismo no ensino tem causado enormes danos, principalmente por apresentarem aos alunos uma Física pobre, superficial e descontextualizada.

Menezes (2009, p. 29) comenta que os conteúdos de Física Clássica ensinados no Ensino Médio passaram por um processo de "fossilização". O ensino da Física ainda continua cravado nos conceitos físicos de três ou dois séculos atrás e pouco espaço se dá à discussão da Física atual, de sua relação com a tecnologia e de seus impactos na sociedade.

O ensino da Física continua dominado pela "pedagogia do discurso" e, por conta disso, os professores ainda pensam o currículo da disciplina que ensinavam como a lista de tópicos que irão tratar, e não como o percurso formativo dos alunos. (MENEZES, 2009, p. 37)

O domínio do Ensino de Física pela "pedagogia do discurso" é um claro retrocesso a uma proposta de ensino integradora, que ofereça condições para que o estudante entenda o conhecimento como elemento cultural. Não é possível

conceber o Ensino de Física como um mero passatempo, um passeio por fórmulas e conceitos sem significados, estéreis do ponto de vista epistemológico.

Pernambuco (2009) argumenta que a situação atual no Brasil demanda um repensar sobre os conteúdos, as metodologias de ensino e a organização da escola. A autora afirma que, no contexto vigente, a população em contato com a escolarização tem crescido substancialmente, aliada a um novo perfil de aluno. Isso torna urgente a reformulação da formação de professores, que precisam dar conta desta nova demanda e da nova personalidade que o alunado vem adquirindo.

Entretanto, há ainda uma visível dicotomia entre os conteúdos pedagógicos e específicos. Pernambuco (2009) declara que os currículos das atuais licenciaturas já conseguem contemplar a ideia de uma Física integrada ao mundo, que influencia e é influenciada por ele, principalmente nas disciplinas pedagógicas ou pedagógico-específicas – como Instrumentação para o Ensino de Física, Didática do Ensino de Física, entre outras. No entanto, nas disciplinas de conteúdo específico, isto não só não é levado em conta, mas também combatido, ou seja, a Física ainda é tratada como um conhecimento absoluto, verdadeiro, invulnerável e à parte de tudo que a rodeia.

Aprendem-se os conteúdos de física de uma forma que nega todas as propostas que são feitas nas disciplinas pedagógicas e de interface. O professor assim formado sente-se inseguro em ousar a ensinar com uma forma e um conteúdo que não aprendeu na sua formação inicial. (PERNAMBUCO, 2009, p. 110)

Como esperar, então, que o professor tenha uma visão da Física como elemento cultural se sua formação não ofereceu subsídios para esta compreensão? Se a Física que propomos ensinar é aquela entendida como parte da Cultura, os cursos de formação de professores devem trabalhar sobre como os licenciandos podem inserir esta visão em suas futuras práticas docentes.

A habilidade de compreender a Física como elemento indissociável da Cultura e da Sociedade pode ser desenvolvida à medida que seja explicitado ao futuro professor essa relação. Não basta apenas desejarmos que o licenciando construa

esta relação por conta própria; é fundamental apontar o caminho, o que pode ser atingido a partir do desenvolvimento de uma formação crítico-transformadora.

1.2.3. O cidadão como interventor na realidade em que vive

Além das paredes das salas de aula, o professor também é um cidadão comum, que vive em sociedade e convive com outros cidadãos, cujas personalidades e formas de pensamento podem ser – e geralmente são – diferentes. A formação de um professor não deve preceder, assim, de uma formação do próprio cidadão que ele é, ou deve ser.

A definição de um conceito de cidadão está atrelada, naturalmente, pelo desenvolvimento do entendimento sobre cidadania. Como o próprio nome indica, a cidadania surge a partir do crescimento da vida na cidade, no contexto histórico das revoluções burguesas após o Renascimento, especialmente a Revolução Francesa.

A Revolução Francesa trouxe o rompimento profundo do direito obtido pelo nascimento, que caracterizava o feudalismo corrente até então. No lugar de um Estado de nascimento, entrou seu oposto: o Estado de direito. "Assim, diante da lei, todos os homens passaram a ser considerados iguais, pela primeira vez na história da humanidade" (CERQUIER-MANZINI, 2010, p. 24). Nesse período, o trabalho passou a ser valorizado como motor do crescimento e libertação humanos, afastando as concepções de que o trabalho desumanizava o homem.

A percepção sobre cidadania, direitos e deveres também veio acompanhada de certas contradições, provocadas principalmente pelo crescimento do sistema capitalista. Enquanto, por um lado, o capitalismo advogava sobre a melhoria de vida dos trabalhadores, por outro, utilizava-os como fonte de exploração para gerar riqueza (CERQUIER-MANZINI, 2010, p. 51-2).

No ventre intelectual da Revolução Francesa, diversos pensadores se debruçaram sobre as concepções de cidadão e cidadania. Destaco as ideias de Immanuel Kant (1724-1804), que abordou o cidadão e o súdito. Como aponta Cerquier-Manzini (2010, p. 39), Kant acreditava que esses:

[...] devem obedecer às normas da lei, mas, enquanto homens que raciocinam, devem fazer uso público da própria razão e estar num processo contínuo de crítica às leis, se consideram que elas são injustas, para que exista um processo também contínuo de reformulação desse Estado de direito.

No sentido kantiano, o cidadão é aquele que está ciente de suas obrigações e deveres, mas deve fazer um constante exercício crítico sobre elas. O fato de estar submetido a regras não o impede de questionar e, em última instância, lutar para modificá-las.

À guisa de uma definição para cidadão ou cidadania, utilizo aquela proposta por Cerquier-Manzini (2010, p. 11), que diz: "cidadão significa ter direitos e deveres, ser súdito e ser soberano". Nesse sentido, a autora afirma que a cidadania é o direito à vida em um sentido pleno, "não só em termos do atendimento às necessidades básicas, mas de acesso a todos os níveis de existência, incluindo o mais abrangente, o papel do(s) homem(s) no Universo" (Idem, p. 14). Por esta definição, entendo que cidadão é aquele que compreende ser parte do mundo, vivenciando e modificando todas as dimensões de sua existência.

O cidadão almejado nesta proposta é aquele que saiba compreender as mudanças e se postar criticamente diante delas. Isto significa, portanto, que a formação do cidadão não deve se restringir à simples reprodução de padrões e regras, mas também à crítica sobre elas, no intuito de atuar sobre elas, aceitando-as ou transformando-as. Nesse sentido, é preciso um cidadão que saiba se informar, se comunicar, participar e estar consciente da necessidade de constante aprendizado. Em relação à Ciência e à Física, penso em um cidadão que compreenda a influência de pressupostos, métodos e resultados científicos em sua vida cotidiana e nos rumos da sociedade que integra.

Nos dias atuais, a visão crítica e transformadora sobre temas como o uso de células-tronco, clonagem, desenvolvimento e utilização de armas nucleares, aquecimento global etc., se configura como elemento importante para a tomada de decisões e formação de movimentos sociais em prol de causas que busquem construir uma sociedade mais democrática e integrada.

Nesse sentido, há de se valorizar a Educação que abre as portas para o conhecimento, para a consciência do papel de cada um na sociedade, com seus direitos e deveres. Esta postura em relação à Educação e a sua importância encontra bases no trabalho de Zabala (2002). Ao discutir a função social do ensino e o enfoque globalizador⁷, o autor afirma:

Quando tentamos responder, com posições progressistas, qual deve ser a finalidade do ensino, não é difícil encontrar um notável acordo em que esta deve consistir na formação de todos os cidadãos e cidadãs para que sejam capazes de responder aos problemas que lhes colocará uma vida comprometida com a melhoria da sociedade e deles mesmos. (ZABALA, 2002, p. 53)

Sendo assim, o papel da Educação deve ser formar cidadãos que saibam buscar por eles mesmos o desenvolvimento pessoal, social e profissional. Isto proporciona a capacidade destes cidadãos de responder aos problemas que formarão uma vida comprometida com o desenvolvimento da sociedade e deles próprios. Segundo o autor, para que isto ocorra, é necessário que a Educação influencie quatro diferentes dimensões de desenvolvimento do indivíduo: social, interpessoal, pessoal e profissional.

A dimensão social refere-se à interação do indivíduo com o mundo ao redor. Nesse sentido, é preciso que a Educação, em primeiro lugar, engrandeça a percepção do cidadão e, em segundo, incentive uma postura reflexiva, possibilitando que opine e intervenha sobre a sociedade.

⁷ Zabala define como enfoque globalizador "a maneira de organizar os conteúdos a partir de uma concepção de ensino na qual o objeto fundamental de estudo para os alunos seja o conhecimento e a intervenção na realidade" (2002, p. 35).

A função da educação deve dirigir-se ao desenvolvimento contínuo da pessoa e da sociedade como uma via, certamente entre outras, mas mais do que outras, a serviço de um desenvolvimento humano mais harmonioso, mais autêntico, para fazer retroceder a pobreza, a exclusão, as incompreensões, as opressões, as guerras. (ZABALA, 2002, p. 54)

No sentido exposto por Zabala (2002), a Educação deve ser o caminho pelo qual o cidadão faça valer seu papel na sociedade e, principalmente, a relevância de suas atitudes para a diminuição de problemas que o atinge de uma forma ou de outra, como a pobreza e as guerras.

Em relação à dimensão interpessoal, o autor fundamenta seu argumento na ideia de que o cidadão precisa conhecer e compreender seu próximo, com suas escolhas pessoais e modos de vida particulares. Além disso, também é importante que o cidadão tenha desenvoltura necessária para se relacionar com outros indivíduos, principalmente aqueles cujas posturas, ideologias e comportamentos são muito distintos.

Saber relacionar e viver positivamente com as demais pessoas, cooperando e participando de todas as atividades humanas com compreensão, tolerância e solidariedade. (ZABALA, 2002, p. 54)

Se o intuito é construir uma sociedade harmoniosa, com respeito e compreensão das diferenças, é crucial que o pressuposto de saber se relacionar respeitosamente faça parte da formação dos indivíduos. Isto, aliás, não deve ser encarado como uma novidade, uma vez que a História nos fornece claros exemplos de como a intolerância e o preconceito levam ao cerceamento de centenas de milhares de indivíduos e à injustiça.

Sobre a dimensão pessoal, Zabala (2002) afirma que os indivíduos precisam também conhecer eles mesmos. A partir disso, é possível o exercício da autocrítica, da observação e crescimento de suas próprias concepções. A escola, nesse viés, não deve ser apenas uma transmissora de conhecimentos.

Para fazer frente à complexidade de fenômenos mundiais e para poder dominar o sentimento de incerteza que isso suscita, é preciso promover um processo que consista tanto na aquisição do conhecimento quanto em sua

relativização e análise crítica. [...] [A escola] deve desenvolver nos alunos e nas alunas a capacidade de tomar decisões com base na reflexão e no diálogo, promovendo, mais do que a formação de futuros cientistas, a educação de cidadãos e cidadãs em uma cultura científica básica, capacitando-os para interpretar os fenômenos naturais e para atuar de forma crítica e responsável em relação aos problemas sociais (ZABALA, 2002, p. 55-6)

Neste trecho, Zabala (2002) utiliza argumentos semelhantes aos proferidos por grande parte dos educadores em Ciência: o estudante deve compreender os fenômenos naturais e pensar criticamente sobre eles. Nesta concepção, o caminho para isso é o autoconhecimento e o aprimoramento da criticidade intrínseca a cada um de nós.

A essência da argumentação de Zabala (2002) também ressoa no discurso freireano, ao assumir que o indivíduo só poderá crescer intelectualmente e participar ativamente do mundo e das coisas do mundo quando sair da sombra da própria ignorância, quando perceber que não só faz parte do mundo, mas que este também faz parte dele. Por esta razão, a Educação não pode ser estéril, um conjunto de ditames e conteúdos a serem digeridos sem reflexão. Ela deve favorecer o pleno desenvolvimento do ser.

Por fim, sobre a dimensão profissional, Zabala (2002) argumenta que a Educação atual deve desenvolver a capacidade de evoluir e inovar do cidadão. Para o autor, a ideia de uma mão de obra extremamente especializada e restrita a um único campo de atuação não é adequada mais, uma vez que o mundo se transforma cada vez mais rápido. É necessário, portanto, profissionais mais capacitados para lidar com novas situações, não previstas inicialmente. Além disso, também se acentua a busca por levar em conta as habilidades individuais de cada ser humano.

[...] o ensino precisa facilitar o desenvolvimento das capacidades profissionais das pessoas, porém exercendo essencialmente uma função orientadora que permita o reconhecimento e a potenciação das habilidades de cada um conforme suas capacidades e seus interesses. Tudo isso situado em um marco que [...] não se limita a adquirir a aprendizagem de um ofício, mas que deve facilitar a aquisição das competências que permitem fazer frente às numerosas e variáveis situações que encontrará

como trabalhador ou trabalhadora, algumas das quais serão imprevisíveis. (ZABALA, 2002, p. 57)

A formação de um cidadão é um processo contínuo, e por esta razão a formação de professores também deve se preocupar em aprimorar estas dimensões do desenvolvimento do indivíduo descritas por Zabala (2002). A consolidação de uma formação crítico-transformadora pode se tornar um caminho para que o futuro professor exerça sua cidadania em sala de aula e saiba integrá-la com seu papel como agente formador de outros cidadãos.

1.3. A formação crítico-transformadora e seus elementos

Partindo dos pressupostos do professor como intelectual transformador, da Física como elemento cultural e do cidadão como interventor na realidade em que vive, é notória a necessidade de incluir na formação de professores de Física elementos que desenvolvam estes aspectos. Por esta razão, abordo a promoção de uma formação crítico-transformadora na Licenciatura em Física.

A formação crítico-transformadora não vem a ser uma terceira formação, como complemento à específica e à pedagógica, mas aquela que considera as duas como únicas e indissociáveis. O trabalho do professor não pode se resumir a uma dicotomia entre "teoria" e "prática", mas ser constituído por um conhecimento integrado e com o propósito transformador.

O professor de Física crítico-transformador entende o conhecimento como historicamente construído e os estudantes como parte dele. Ao admitir a necessidade de dar aos seus alunos voz ativa, o professor crítico-transformador fornece os elementos para a construção significativa do conhecimento, incluindo nisso a perspectiva de que qualquer processo de ensino e aprendizagem é, antes de tudo, político, no sentido de oferecer uma visão abrangente do mundo.

Entretanto, simplesmente advogar em favor da formação crítico-transformadora é um ato vazio, pois restaria a dúvida sobre quais conhecimentos o professor deve aprender e apreender para ser considerado como tal.

A construção dos elementos constituintes da formação crítico-transformadora fundamentou-se nos referenciais trabalhados anteriormente e apresentam-se não como regras ou dogmas a serem seguidos estritamente. Pelo contrário, funcionam como pressupostos norteadores, a fim de embasar a concepção de formação crítico-transformadora e fornecer os princípios básicos, a fim de guiar trabalhos futuros nessa linha.

Vale também salientar que a formação crítico-transformadora aqui defendida não supõe a solução de todas as dificuldades da profissão e da sala de aula. Esta formação busca desenvolver no futuro professor de Física uma postura mais reflexiva sobre si mesmo, sua prática e a Física em si para que possam lidar mais facilmente com estes obstáculos.

Sendo assim, estabeleço cinco elementos básicos da formação crítico-transformadora:

1. Dialogar de forma crítica com o mundo, se posicionando de maneira coerente e bem fundamentada diante de questões diretamente relacionadas à sua área de atuação, mais especificamente à Educação e à Física;
2. Entender seu papel enquanto formador de cidadãos e cidadãs que devem também dialogar criticamente com o mundo à sua volta;
3. Estabelecer relações interdisciplinares entre a Física e outras áreas da Ciência e do conhecimento;
4. Relacionar o conhecimento físico com o conhecimento pedagógico no intuito de tornar o Ensino de Física mais dinâmico e menos pragmático;
5. Entender a Física como conhecimento construído historicamente e como elemento cultural de uma sociedade;

Nessa concepção, o professor crítico-transformador é o professor que constrói relações entre os diferentes conhecimentos, argumentos e opiniões, que dialoga entre as várias interfaces do conhecimento e traz esse diálogo ao contexto da sala de aula, que se posiciona a partir de uma postura investigativa. Além disso, o professor crítico é aquele estabelece a Física como parte da Cultura e da Sociedade. Ao longo de todo o texto, esta será a concepção de formação crítico-transformadora referenciada. Discorro brevemente sobre cada um desses elementos a seguir.

O diálogo crítico com o mundo

O professor crítico-transformador é aquele hábil em estabelecer um diálogo crítico com o mundo ao seu redor, problematizando-o e transformando-o com sua ação. Isso se dá por meio do posicionamento coerente e bem fundamentado do professor, que não concorda ou discorda sem razão, mas possui argumentos articulados para fazê-lo.

O diálogo crítico com o mundo implica que há reciprocidade. O professor não recebe o conhecimento passivamente e atua como seu transmissor, mas dialoga com ele, se comunica. Por meio do diálogo, o professor constrói sua linha de pensamento e sua posição diante de questões importantes relacionadas à Física e à Educação.

O professor é um formador de cidadão e cidadãs

A formação crítico-transformadora deve ser aquela que promova ao curso da formação a concepção de que o professor tem um papel ativo na educação de seus alunos. Paulo Freire coloca sabiamente isso em palavras ao dizer que ensinar exige comprometimento e a compreensão de que a educação é uma forma de intervenção no mundo. Sendo assim, "não é possível exercer a atividade do magistério como se nada ocorresse conosco" (FREIRE, 1996, p. 96).

À medida que se entende não como parte externa do processo educativo, mas como elemento crucial, o professor crítico-transformador assume a responsabilidade de construir com seus alunos uma visão crítica e atuante sobre o mundo. Não no sentido de doutriná-los em sua visão, mas de despertar o gosto pela transformação, pela expansão dos olhares, por um conhecimento novo e motivador.

Com isso, o professor crítico-transformador respeita a autonomia do educando, como ser único e complexo, que tem sentimentos, personalidades e desejos diversificados. Entende, assim, que isso "é um imperativo ético e não um favor que podemos ou não conceder uns aos outros" (FREIRE, 1996, p. 59). Ao enxergar seus alunos como cidadãos e cidadãs do mundo, o professor crítico-transformador abraça os valores de que a mudança é difícil por meio da Educação, mas é possível, não importando "se o projeto com o qual nos comprometemos é de alfabetização de adultos ou de crianças, se de ação sanitária, se de evangelização, se de formação de mão de obra técnica" (FREIRE, 1996, p. 79).

A Física se relaciona com outros conhecimentos

Para um professor crítico-transformador, a Física não é entendida como conhecimento fechado em si, mas uma forma de congregar uma linha de pensamento, uma perspectiva de ver o mundo. Sendo assim, não há fenômeno que só possa ser explicado pelo conhecimento físico.

A formação de um professor crítico-transformador contempla a percepção de que a divisão de conhecimentos estabelecida é nova. Basta uma rápida consulta à própria História do conhecimento científico para concluir que físicos, químicos, biólogos, filósofos e médicos, por exemplo, eram todos denominados filósofos naturais até meados do século XIX. Não porque a pesquisa nessas áreas era superficial, mas porque o conhecimento é um todo, e suas subdivisões são simplesmente formas diferentes de enxergá-lo.

A Física, na concepção crítico-transformadora, se relaciona também com outras áreas não comumente a ela associadas, como a arte, a literatura e o cinema. Exemplos como as pinturas de Johannes Vermeer (1632-1675), influenciadas pelo desenvolvimento da Óptica na Holanda do século XVII (BARBOSA-LIMA, QUEIROZ e SANTIAGO, 2007), a peça "A vida de Galileu" de Bertold Brecht e seu contundente retrato de Ciência (ANDREIS, 2009) ou a reflexão filosófica da ficção científica "Contato" (1997) (PIASSI, 2007) oferecem elementos para essa associação.

O Ensino de Física mais dinâmico e menos pragmático

Como abordei logo acima, a formação crítico-transformadora abarca conhecimentos específicos e pedagógicos como impartíveis, no sentido de que o ensino do conhecimento científico só se dá a partir do trabalho em comum. Não se entende o ensino como o momento de colocar a Física em prática, como se na sala de aula ela fosse um objeto a ser transmitido aos leigos.

A formação crítico-transformadora implica que o professor deve minimizar o pragmatismo no ensino, como se ele se resumisse a um ditado de coisas sem sentido aos alunos. O ensino, na visão crítico-transformadora, está atrelado à aprendizagem, o que implica que o professor deve entender o momento de sala de aula não como a hora de colocar em prática algo, mas a de construir *com* seus alunos a significação das coisas.

Nesse sentido, o professor de Física crítico-transformador trabalha o conhecimento físico de forma dinâmica em sala de aula, no sentido de fazer dele e do aluno protagonistas do processo educativo. A Física não é tratada como um conhecimento pronto, mas um conhecimento a ser aprendido e, principalmente, questionado sempre.

A Física é um conhecimento historicamente construído

A formação crítico-transformadora implica em promover momentos que os licenciandos compreendam a Física como conhecimento historicamente construído. Isso significa entender que a Física não é construída dentro de uma bolha, imune aos acontecimentos que a rodeia. Pelo contrário, ela faz parte deles, sendo influenciada por eles e influenciando-os ao mesmo tempo.

Como conhecimento histórico, a Física tem um caráter mutável e variável. A formação crítico-transformadora contribui para demolir a concepção distorcida de que a Física é estática, absoluta e fonte das verdades do mundo. A partir disso, o professor crítico-transformador pode construir esta visão em sua prática docente, concebendo entre ele e seus alunos a noção de que, por ser conhecimento histórico e pelos humanos serem parte dessa História, eles também podem transformá-lo.

O professor deve ser crítico-transformador não para aceitar a realidade como ela é, para ter uma postura fatalista da Educação, mas para atuar sobre ela, a partir de uma perspectiva crítica, com o intuito de transformá-la. O crítico-transformador compreende que o mundo muda, mas procura entender as razões para isso, na medida em que se coloca como ser integrante dessa mudança e, portanto, capaz de operar sobre ela.

CAPÍTULO 2 – A HISTÓRIA DA CIÊNCIA NO ENSINO E NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE FÍSICA

A formação crítico-transformadora propõe situar o professor no contexto histórico do desenvolvimento do conhecimento, fornecendo elementos que subsidiem uma percepção crítica e transformadora de mundo. Estudar a História da Ciência é, dessa forma, colocar o professor como parte dessa história, aperfeiçoando sua postura crítica e ativa em relação à Ciência.

A aproximação entre o estudo da História da Ciência e sua utilização no Ensino tem sido cada vez mais forte nos últimos anos. A pesquisa entre a interface das duas áreas ressalta a potencialidade dos conteúdos históricos para abordagens diferenciadas dos conceitos científicos e para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem. Por isso, nos cursos de formação de professores de Física, é comum a presença em seus currículos de disciplinas de História da Ciência, a fim de possibilitar que o licenciando entre em contato com conteúdos históricos. Estas disciplinas são chamadas de "Evolução dos Conceitos da Física" ou "História da Física" e geralmente são oferecidas a partir da segunda metade do curso.

Neste capítulo, discutirei a potencialidade do estudo da História da Ciência como caminho para a formação crítico-transformadora na Licenciatura em Física. Para isso, abordarei inicialmente as relações entre História da Ciência e Ensino, trabalhando sobre as contribuições que os conteúdos históricos podem trazer para a sala de aula. Em seguida, discutirei alguns problemas na incorporação da História da Ciência na formação de professores. Por fim, argumentarei sobre a relação entre História da Ciência e formação crítico-transformadora, balizando minha proposição no conceito de que o estudo histórico da Ciência não precisa se reduzir a momentos ou disciplinas específicas na Licenciatura em Física, mas pode estar presente ao longo de todo o curso, a fim de promover esta formação.

2.1. História da Ciência e Ensino

A importância do papel da História da Ciência para a Educação Científica tem sido um ponto de convergência entre historiadores e educadores nas últimas décadas. Estes pesquisadores argumentam que a discussão de questões históricas referentes à Ciência é importante para que alunos e professores compreendam e reflitam sobre a construção do conhecimento científico (MATTHEWS, 1994).

O caminho para a noção consensual de que os conteúdos históricos podem desempenhar um papel importante para o Ensino de Ciências foi turbulento e se consolidou somente nas últimas duas décadas (MOURA, 2008). As críticas recaem, entre outras coisas, nas distorções históricas, consideradas entraves que impedem que a História da Ciência seja trabalhada no ensino. Entre essas distorções, estão a *pseudohistória* (ALLCHIN, 2004) e a história *Whig* (BUTTERFIELD, 1965), que enfatizam uma imagem idealizada da Ciência, o papel das teorias ditas "vencedoras" e o retrato dos cientistas como gênios presos em sua redoma de inteligência.

Entendo que o papel do ensino não é doutrinar, mas fornecer caminhos para que os educandos construam significado sobre o mundo. Sendo assim, a História da Ciência não deve ser considerada uma ameaça ao ensino de futuros cientistas ou professores, mesmo porque não podemos considerá-los como uma caixa vazia a ser preenchida.

No contexto atual, é consenso que a História da Ciência é um recurso pedagógico importante para o Ensino de Ciência. Na literatura especializada, são diversos os trabalhos que discutem a inclusão de conteúdos históricos nas mais variadas instâncias educacionais, desde o ensino médio até a formação de professores (FORATO, 2009; MOURA, 2008; IRWIN, 2000; PEDUZZI, 2001; CASTRO, 1993; VANNUCCHI, 1997; LARANJEIRAS, 1994; HENRIQUE, 2011, entre outros). Estes trabalhos apontam para os diferentes tipos de abordagem que podem ser trabalhadas a partir de conteúdos históricos, no sentido de ensinar conceitos

científicos, questões envolvendo a natureza da Ciência ou mesmo promover a formação cultural de professores e alunos.

Diversos autores discutem as contribuições que a História da Ciência pode ter para o Ensino. Martins (2006a), por exemplo, argumenta que o estudo de alguns episódios históricos permite a compreensão da relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, denotando que a primeira não é uma atividade isolada. O autor cita o exemplo da teoria de probabilidades desenvolvida no século XVII como decorrência da preocupação com jogos de dados e cartas e com as apostas em dinheiro. Martins (2006a) também aborda a percepção que a História da Ciência dá sobre o caráter gradual e coletivo do processo de desenvolvimento do conhecimento científico. Segundo ele, isto permite:

[...] formar uma visão mais concreta e correta da real natureza da ciência, seus procedimentos e suas limitações – o que contribui para a formação de um espírito crítico e desmitificação do conhecimento científico, sem no entanto negar seu valor. (MARTINS, 2006a, p. xviii)

Matthews (1994, p. 49-50) e Peduzzi (2001, p.157-8) também expõem algumas razões para a inclusão da História da Ciência no Ensino. Sintetizo algumas delas:

- A História da Ciência promove uma melhor compreensão dos conceitos e métodos científicos;
- Abordagens históricas relacionam o desenvolvimento do pensamento individual com o desenvolvimento das ideias científicas;
- A História da Ciência é necessária para compreender a natureza da ciência;
- A História da Ciência contrapõe o cientificismo e o dogmatismo que são comumente encontrados em textos científicos e aulas de ciências;
- A História da Ciência incrementa a cultura geral do aluno;

- A História da Ciência indica como o pensamento científico se modifica com o tempo.

Zanetic (1989), ao discutir o papel da História da Ciência no Ensino, lista alguns motivos que o levaram a defender a interface entre as duas áreas:

- A recuperação da Física enquanto uma área do conhecimento que tem muito a contribuir na formação cultural geral de um cidadão contemporâneo;
- A História da Física oferece situações exemplares de rica utilização do imaginário, tão vital tanto para o cientista quanto para o cidadão contemporâneo;
- Uma formação crítica necessária para a luta pela transformação social passa pela compreensão da construção do conhecimento e não apenas de seus sucessos;
- A História da Física pode ser de grande valia também na seleção do conhecimento em Física que deverá participar do currículo das escolas.

(ZANETIC, 1989, p. 126-7)

Por sua vez, Alfonso-Goldfarb (2004) afirma que a História da Ciência não tem se relacionado somente com o Ensino, mas que possui influências sobre outras áreas, como a política científica e nos museus.

Especificamente sobre a formação de professores, Martins (1990) argumenta que a História da Ciência pode contribuir, por exemplo, para contrapor aspectos essencialmente técnicos de uma aula, uma vez que os complementa com o estudo de questões sociais, humanas e culturais envolvidas na Ciência. O autor completa:

[...] o conhecimento da História da Ciência pode permitir o conhecimento de ideias, temas, problemas, argumentos, exemplos e aparelhos hoje esquecidos e que podem ser extremamente úteis na prática do ensino, fugindo à rotina dos livros-texto e enriquecendo as aulas com material que pode ser perfeitamente adequado aos estudantes. (MARTINS, 1990, p. 4)

Como outro exemplo sobre a História da Ciência na formação de professores, Matthews (1995) apresenta uma série de iniciativas que trabalham com esta interface. Segundo ele, o fato da História da Ciência promover um ensino de qualidade não é o único argumento vantajoso:

[...] pode-se argumentar a favor de um professor que tenha conhecimento crítico (conhecimento histórico e filosófico) de sua disciplina mesmo que esse conhecimento não seja diretamente usado em pedagogia – há mais em um professor do que apenas aquilo que se pode ver em sala de aula. (MATTHEWS, 1995, p. 188)

Sob uma perspectiva semelhante, Alfonso-Goldfarb (2004, p. 88) salienta que um trabalho com História da Ciência evita que os futuros professores entendam seus alunos como "*pequenos gregos* que devem ser transformados em *jovens Newtons*".

A História da Ciência, portanto, fornece subsídios para compreender como a Ciência é produzida, afastando concepções ingênuas de que o conhecimento científico é puramente pragmático e construído por gênios enclausurados e imunes às mudanças no mundo. Deste modo, o estudo de episódios históricos pode oferecer subsídios para uma melhor compreensão das relações entre a Ciência, os cientistas e a sociedade, permitindo o desenvolvimento de um senso crítico-transformador mais apurado sobre o fazer científico e sua influência social e cultural.

O estudo da História da Ciência pode funcionar como um caminho natural para o desenvolvimento de uma formação crítico-transformadora. A princípio, pode-se pensar que a inclusão de disciplinas de caráter historiográfico nos currículos das licenciaturas em Física seria suficiente para promover a formação crítica. Entretanto, uma análise mais detalhada da questão revela que, embora diversas licenciaturas tenham incluído disciplinas como essas, não há garantias de que uma formação crítica seja desenvolvida. A razão disto pode estar ligada em problemas que não se referem somente à estrutura dessas disciplinas, mas aos docentes que as ministram, à afinidade dos licenciandos com os conteúdos históricos e às abordagens empregadas.

2.2. Os problemas da História da Ciência na Formação de Professores

Como um efeito das diversas menções à importância da História da Ciência na formação de professores, tornou-se comum a inclusão de disciplinas com viés histórico nos currículos dos cursos de Licenciatura em Física. Com frequência, essas disciplinas são intituladas "Evolução dos Conceitos da Física" ou mesmo "História da Física" e são componentes obrigatórios da formação. O momento em que as disciplinas são oferecidas varia de instituição para instituição, bem como suas cargas horárias semanais. No quadro abaixo, listo alguns exemplos.

Quadro 1. Dados sobre disciplinas envolvendo História da Ciência em cursos de Licenciatura em Física de algumas universidades brasileiras. Para este levantamento, foram considerados os currículos mais atuais dos cursos. Por meio dele, é possível perceber uma tendência em concentrar as disciplinas de História da Ciência na segunda metade do curso. As ementas das disciplinas podem ser consultadas nos sites referenciados.

UNIVERSIDADE	DISCIPLINA	SEMESTRE EM QUE É OFERECIDA	CARGA HORÁRIA SEMANAL
Universidade de São Paulo ⁸	Evolução dos Conceitos da Física	Disciplinas optativas / Não há semestre fixo	2h
	Tópicos de História da Física Clássica		2h
	Tópicos de História da Física Moderna		2h

⁸ Fonte: <http://web.if.usp.br/cg/sites/default/files/Licenciatura%202012.pdf>. Acesso em 04/2012.

	Filosofia da Física		2h
	Teoria do Conhecimento e Filosofia da Ciência I		4h
	História da Ciência, da Técnica e do Trabalho		5h
Universidade Estadual de Campinas ⁹	Tópicos de História da Física I	Disciplinas eletivas / Não há semestre fixo	2h
	Tópicos de História da Física II		2h
	Tópicos de História da Física III		2h
	Tópicos de História da Física IV		2h
	Tópicos de História da Física V		2h
	Tópicos de História da Física VI		2h
	Tópicos de História da Física VII		2h
	Tópicos de História da Física VIII		2h

⁹ Fonte: http://www.dac.unicamp.br/sistemas/catalogos/grad/catalogo2012/coordenadorias/0029/0029.html#F_061. Acesso em 08/2012.

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ ¹⁰	História da Física	8º	4h
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC ¹¹	Evolução dos Conceitos da Física	9º	4h
Universidade Federal de Uberlândia – UFU	Evolução dos Conceitos da Física (Campus Uberlândia) ¹²	9º	4h
	Construção do Conhecimento em Física (Campus Ituiutaba) ¹³	9º	4h
Universidade Federal de São Paulo – Unifesp ¹⁴	História da Física	5º	2h
Universidade Federal de Minas	Evolução das Ideias da Física	5º	4h

¹⁰ Fonte: <https://www.siga.ufrj.br/sira/repositorio-curriculo/ListaCursos.html>. Acesso em 03/2012.

¹¹ Fonte: <http://www.cagr.ufsc.br/relatorios/curriculoCurso?curso=225>. Acesso em 03/2012.

¹² Fonte: <http://www.infis.ufu.br/sites/infis.ufu.br/files/Anexos/Bookpage/Fluxograma.pdf>. Acesso em 03/2012.

¹³ Fonte: http://www.facip.ufu.br/sites/facip.ufu.br/files/Anexos/Bookpage/FI_GradeCurricular.pdf. Acesso em 03/2012.

¹⁴ Fonte: http://www.unifesp.br/prograd/portal/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=419&Itemid=260. Acesso em 03/2012.

Gerais – UFMG ¹⁵			
Universidade Federal do Paraná – UFPR ¹⁶	História da Física	7º	4h
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS ¹⁷	Evolução das Ideias da Física I	1º	4h
	Evolução das Ideias da Física II	2º	4h
	Epistemologia, Filosofia e História da Ciência I	7º	2h
	Epistemologia, Filosofia e História da Ciência II	8º	2h
Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM ¹⁸	Evolução das Ideias da Física	8º	4h

¹⁵ Fonte: <http://www.fisica.ufmg.br/graduac/>. Acesso em 03/2012.

¹⁶ Fonte: http://fisica.ufpr.br/grad/grade_licenciatura_2011.html. Acesso em 03/2012.

¹⁷ Fonte: <http://www.sien.ufms.br/cursos/grade/0215>. Acesso em 03/2012.

¹⁸ Fonte: http://www.uftm.edu.br/upload/ensino/PPC_Fisica_FINAL_EMEC.pdf. Acesso em 03/2012.

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE ¹⁹	História da Física	5º	4h
Universidade Federal de Roraima – UFRR ²⁰	História da Física	5º	3h

Pelo quadro acima, é possível afirmar que o estudo da História da Ciência está contemplado nos currículos atuais das licenciaturas em Física por meio de disciplinas de caráter histórico e filosófico. Não se pode, claramente, discorrer sobre como estas disciplinas são ou foram trabalhadas, mas seria esperado que elas fornecessem subsídios para que os futuros professores trabalhassem com estes conteúdos em suas práticas docentes. No entanto, pesquisas apontam que ainda há um abismo entre a inclusão da História da Ciência nos currículos e seu uso pelo futuro professor.

Martins (2007) apresentou os resultados de uma pesquisa empírica que buscou delinear as visões de grupos de licenciandos e professores já formados sobre a utilização de conteúdos históricos em suas aulas de Física para o ensino médio. No levantamento descrito, denota-se um elevado interesse pela História da Ciência em sala de aula por parte dos entrevistados. Grande parte cursa ou cursou disciplinas envolvendo estudos históricos e salientam a relevância destes conteúdos nas aulas de Física do ensino médio (MARTINS, 2007, p. 118-9)

¹⁹ Fonte: http://www.ufpe.br/proacad/images/cursos_ufpe/fisica_licenciatura_perfil_4605.pdf

²⁰ Fonte: <http://www.dfis.ufr.br/>. Acesso em 03/2012.

Contudo, o interesse e o estudo da História da Ciência não trouxeram aos pesquisados uma utilização automática deste tema em suas práticas docentes. Entre os obstáculos apontados pelos professores e licenciandos, destaca-se a falta de tempo e a quantidade insuficiente de materiais didáticos voltados ao tema. O autor da pesquisa aponta para o fato de que, embora os professores concordem que a História da Ciência é importante, eles a enxergam como algo exterior aos currículos, que precisa ser contemplado em um momento adicional das aulas. A História da Ciência é assim vista como um adendo ao ensino, não como parte integrante dele. Outra verificação da pesquisa denota que os professores tem receio de utilizar abordagens que julgam "inovadoras", uma vez que quebrariam o padrão já estabelecido, podendo ser considerados maus profissionais.

Estas questões corroboram a percepção de que simplesmente incluir disciplinas de História da Ciência não é suficiente para fomentar um novo entendimento da Ciência e do Ensino por parte dos professores. Estes apresentam uma visão demasiadamente fatalista, prevendo o insucesso da abordagem histórica muitas vezes por desacreditar nos alunos e em si próprio.

Sendo assim, se o intuito é trabalhar a História da Ciência na formação de professores, a fim de que estes possuam uma visão mais abrangente do tema, é imperativa uma mudança nas ações. Como aponta uma das conclusões da pesquisa, não "basta que tenhamos disciplinas de HFC [História e Filosofia da Ciência] nas licenciaturas. É preciso refletir sobre o como fazer" (MARTINS, 2007, p. 127).

Em outra pesquisa recente (FORATO, 2009), a falta de preparo do professor em lidar com a História da Ciência também aparece em destaque. Ao implementar uma proposta que buscava discutir aspectos da Natureza da Ciência entre alunos de ensino médio, a autora constatou que uma das dificuldades foi a falta de formação da professora participante. Em muitas situações, a professora não soube contornar os imprevistos surgidos a partir das discussões entre os alunos, fazendo uso de concepções inadequadas sobre a Ciência. A autora afirma que, enquanto a etapa de

preparação foi muito bem sucedida em alguns aspectos, ainda havia pontos a serem trabalhados.

Monk e Osbourne (1997, p. 411) argumentam que a razão para a não utilização da História da Ciência em sala de aula é a falta de "confiança" por parte dos professores. Segundo os autores, os professores não acreditam que o conteúdo histórico adicionará algo aos seus conhecimentos e habilidades. Tal opinião é justificável, uma vez que o professor raramente tem oportunidade de pensar sobre como lidar com materiais de História da Ciência ao longo de sua formação. Nesta perspectiva, o professor provavelmente não será capaz de utilizar os estudos históricos como recursos pedagógicos em suas aulas.

Nota-se, assim, que a simples incorporação de disciplinas de conteúdos históricos não implica na automática utilização do futuro professor destes conteúdos em suas aulas ou na promoção de uma visão mais abrangente de Ciência. As razões para isso podem ser várias e vou discutir algumas delas a seguir.

Um primeiro possível problema refere-se ao perfil dos docentes que ministram estas disciplinas. A discussão sobre o modelo adequado é controversa e para esclarecer meu ponto de vista, faço um paralelo com as discussões de Martins (2001) sobre o perfil daquele que escreve sobre História da Ciência. Segundo o autor, uma vez que a História da Ciência não é uma profissão regulamentada, qualquer indivíduo pode se autointitular historiador da ciência, escrevendo sobre ela. Entretanto, a pergunta não deveria ser quem pode escrever sobre História da Ciência, mas quem deveria poder.

Para Martins (2001), não basta saber muita Física ou muita Ciência para ser capaz de escrever sobre História da Ciência. Segundo ele, "somente uma pessoa com um conhecimento e treino adequado nas técnicas de trabalho de história da ciência deveria poder escrever sobre história da ciência" (MARTINS, 2001, p. 114). O autor destaca, contudo, que não defende uma visão corporativista, em que só mestres ou doutores em História da Ciência poderiam trabalhar sobre ela. Ele afirma que há, pelo menos, quatro requisitos básicos para isso: a compreensão de que

seus preconceitos e expectativas podem influenciar uma apreciação anacrônica dos episódios históricos; o gosto pela leitura, uma vez que o trabalho do historiador da ciência se concentra na análise de fontes escritas; o cuidado para não fazer afirmações categóricas e muitas generalizações; e a percepção de que o estudo sobre a História da Ciência é uma atividade profissional, que deve ser feita de modo sério e comprometido. Ele conclui:

[...] quem achar que história da ciência é suficientemente importante para valer a pena escrever sobre o assunto deve procurar fazer bem esse trabalho. (MARTINS, 2001, p. 128)

Traçando um paralelo com os argumentos de Martins (2001), os docentes que ministram as disciplinas específicas sobre História da Ciência deveriam ser, ao menos, entendedores dessa área como atividade profissional bem estabelecida. Não se advoga, portanto, contra os não historiadores da ciência, mesmo porque, como já dito, esta não é uma profissão regulamentada. Em tese, todos são e não são historiadores da ciência. Pelo contrário, deve existir uma compreensão de que a História da Ciência não é uma atividade qualquer, adicional, secundária, assim como o próprio ensino não é, e, por isso, aquele que se dispõe a lecionar disciplinas com esse caráter devem estar cientes disso.

Outro possível problema está na percepção, também no ensino superior, de que a História da Ciência é um acessório, um algo a mais a ser trabalhado. Uma pesquisa recente feita com professores da Universidade Federal da Bahia (UFBA) indicou que 90% do corpo docente do Instituto de Física possui formação e atuação na pesquisa básica em Física, ou seja, não atua diretamente com História da Ciência, ainda que estes professores afirmem trabalhar eventualmente com o tema nas disciplinas que ministram (ROSA e MARTINS, 2007). Grande parte das respostas obtidas foca na contextualização como utilização principal da História da Ciência. Embora não seja possível analisar a qualidade desta contextualização, é muito provável que ela esteja sendo utilizada em seu sentido mais superficial, com o intuito de dizer que "isso ou aquilo aconteceu em tal época e foi feito por tal cientista".

O estudo do caráter histórico do conhecimento científico é considerado, assim, como tarefa apenas das disciplinas de História da Ciência. Não se tem a visão de que todo conhecimento científico é naturalmente histórico e que isto pode ser trabalhado não somente nas disciplinas de História da Ciência.

Embora esteja focando no contexto da formação de professores de Física, esta discussão também é válida para o bacharelado. Os dois problemas apontados acima podem implicar no desconhecimento do professor de disciplinas de História da Ciência e de específicas de Física de obras históricas como os *Principia* de Newton ou o *Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo* de Galileo. Este desconhecimento dos professores pode ser, assim, socialmente aprendido pelos licenciandos e bacharelados, o que se configura em uma triste constatação: enquanto na Filosofia, por exemplo, é impensável que o estudante não entre em contato com obras seculares como as de Kant ou Platão, na Física é comum que não se tenha tido nenhum contato com as obras originais daqueles que contribuíram para consolidá-la.

Um terceiro problema reside na confiança que se tem na eficácia dessas disciplinas ou iniciativas, no sentido de depositar nelas a expectativa de que apenas por introduzi-las é garantia de um resultado bem sucedido. Nos trabalhos publicados atualmente sobre a História da Ciência na formação de professores, há uma grande ênfase na utilização de episódios históricos para discutir aspectos relacionados à construção do conhecimento científico, as influências que exerce sobre a sociedade e vice-versa, o papel das concepções prévias dos cientistas no desenvolvimento de suas ideias, a complexa relação entre observação, hipótese e teorias, entre outros²¹. Estes aspectos são abarcados pelo que os pesquisadores denominam de Natureza da Ciência (LEDERMAN, 1992).

²¹ Alguns exemplos: Silva e Moura (2012), Wang e Marsh (2002), Forato et. al. (2011), Cavicchi (2008), McComas (2008), Rudge e Howe (2009).

A princípio, seria esperado que a introdução de cursos ou conteúdos de História da Ciência ao longo da licenciatura ou bacharelado contribuiria para que os estudantes tivessem uma visão adequada da Natureza da Ciência. Entretanto, pesquisas indicam que a inclusão destes conteúdos é pouco efetiva e os participantes acabam não aprimorando suas visões sobre Ciência (ABD-EL-KHALICK e LEDERMAN, 2000). Isto denota que o obstáculo pode não estar restrito somente à direção dada à História da Ciência, mas a outros fatores externos.

Segundo Höttecke e Silva (2011), a implementação da História da Ciência no Ensino de Ciências é dificultada, entre outras razões, pela cultura de ensinar Física, pela estrutura dos currículos escolares e pela falta de material adequado. Em relação à primeira, os autores afirmam que, enquanto o ideal seria que a Física fosse ensinada como um processo historicamente construído e desempenhado por homens e mulheres da Ciência, a cultura predominante é a de que a Física é uma mera coleção de fatos e verdades, perpetuados como um conhecimento puramente masculino. Além disso, há um excesso de "discurso de autoridade" na Física, em que nenhum conhecimento pode ser questionado, apenas por grandes mentes da Ciência.

Sobre a estrutura dos currículos escolares, Höttecke e Silva (2011) apontam que os currículos geralmente possuem mensagens subliminares para ignorar a História da Ciência, mesmo que explicitamente a mencionem. Para isto, basta verificar os manuais universitários e os textos didáticos. Pela grande quantidade de conteúdo a ser tratado ao longo do ano letivo, os professores são levados a ignorar o que é considerado excedente, no caso, a História da Ciência. Se isto é prática comum, por que o futuro professor deveria se preocupar em aprender sobre História da Ciência?

Sobre a falta de material adequado, Höttecke e Silva (2011) afirmam que os livros-texto reduzem as informações históricas a datas, nomes e linhas do tempo, não dando ênfase à História da Ciência como um empreendimento humano. Os autores destacam que geralmente os historiadores da ciência não participam da redação destes materiais, fazendo com que profissionais sem formação na área

acabem por escrever sobre ela. Isto faz com que a História da Ciência seja uma simples alegoria nestes materiais, ou seja, completamente descartável. O licenciando ou bacharelado, em contato com estes materiais, pode adquirir uma visão distorcida da História da Ciência.

Um último possível problema em relação à História da Ciência na formação de professores e nos bacharelados é a forma de abordar os conteúdos históricos. Provavelmente os resultados de uma discussão historiográfica com licenciandos serão inócuos se, em primeiro lugar, não há um objetivo definido para a discussão, pois "não basta uma quantidade significativa de história ou filosofia, é necessário que se dê algum norte a elas" (RUSSELL, 1981, p. 56). Em segundo lugar, é preciso averiguar se a forma de abordar os conteúdos históricos atinge este objetivo.

Dessa forma, se a intenção é utilizar a História da Ciência para fomentar a formação crítico-transformadora, é necessário um repensar sobre novas abordagens, que contemplem este objetivo. Como ponto central, é fundamental estabelecer de que maneira o caráter histórico do conhecimento científico se relaciona com a formação crítico-transformadora.

2.3. História da Ciência e formação crítico-transformadora: construindo relações

As discussões das seções anteriores deste capítulo demonstraram que o estudo da História da Ciência fornece subsídios para uma compreensão mais adequada do processo de construção do conhecimento científico, uma vez que realça que a Ciência é, basicamente, um empreendimento humano. Da mesma forma, aponte que a incorporação de questões de cunho histórico no Ensino, por meio da História da Ciência, tem enfrentado uma série de problemas, que acabam por limitar a potencialidade que a área tem para a formação dos professores de Física. Estas questões indicam a necessidade de se repensar a discussão da História da Ciência se o propósito é fomentar uma formação crítico-transformadora de professores. Em

primeiro lugar, abordo a relação entre História da Ciência e formação crítico-transformadora. Em segundo, discuto a necessidade de novas abordagens históricas na Licenciatura em Física, a fim de promover esta formação. Para balizar a argumentação, recorrerei novamente a Paulo Freire e suas concepções sobre homem e Educação.

A História da Ciência constitui-se um caminho para a formação crítico-transformadora de professores porque, essencialmente, todos os homens são seres históricos. Nesse sentido, é impossível pensar no homem como um ser externo aos acontecimentos históricos, como se acompanhasse à distância o desenvolvimento da sociedade. O homem atua sobre o mundo, assim como o mundo atua sobre o homem. Por isso, afirma Paulo Freire: "não há [...] possibilidade de dicotomizar o homem do mundo, pois que não existe um sem o outro" (FREIRE, 2011, p. 31).

Dessa forma, estudar o viés histórico do conhecimento científico é estudar a própria história do homem, enquanto ser responsável por desenhá-la no curso do tempo. Não há lugar para uma concepção "bancária" de ensino, em que o homem é tirado de sua função histórica e social e colocado como um receptáculo de ideias prontas.

Nesse sentido, o estudo do conhecimento científico deve ser também sobre o processo, e não somente sobre o produto. Este último é acabado, limitado, fechado em si. O processo, pelo contrário, é dinâmico e revelador, uma vez que caracteriza a ação humana sobre o mundo. Ao estudarem o conhecimento científico como processo, os professores – como seres humanos – percebem sua ação transformadora sobre o mundo, a realidade e a própria humanidade, criando sua história.

Os homens [...] ao terem consciência de sua atividade e do mundo em que estão, ao atuarem em função de finalidades que propõem e se propõem, ao terem o ponto de decisão de sua busca em si e em suas relações com mundo, e com os outros, ao impregnarem o mundo de sua presença criadora através da transformação que realizam nele, na medida em que dele podem separar-se e, separando-se, podem com ele ficar, os homens,

ao contrário do animal, não somente vivem, mas existem, e sua existência é histórica. (FREIRE, 2005, p. 103-4)

Em uma concepção crítico-transformadora, a função do professor é problematizar o conhecimento e não levá-lo pronto à mente do educando. A problematização do conhecimento científico só pode ser realizada quando compreendemos este conhecimento como obra humana.

[...] se o conhecimento científico e a elaboração de um pensamento rigoroso não podem prescindir de sua matriz problematizadora, a apreensão deste conhecimento científico e do rigor deste pensamento filosófico não pode prescindir igualmente da problematização que deve ser feita em torno do próprio saber que o educando deve incorporar. (FREIRE, 2011, p. 69)

A formação crítico-transformadora de professores, ao desenvolver a percepção de que são agentes transformadores do mundo, os colocam como seres histórico-sociais. A problematização deste conhecimento é a chave para tornar o Ensino como construção recíproca de saberes, e não apenas uma troca unilateral. Freire (2011, p. 112) afirma que colocar o mundo como problema ao educando é uma forma de fazer com que professor e aluno vejam o mundo criticamente, pois "ninguém, na verdade, problematiza algo a alguém e permanece, ao mesmo tempo, como mero espectador da problematização".

A formação crítico-transformadora se relaciona com a História da Ciência porque ambas não podem ser artificialmente separadas. Portanto, se pensamos em uma formação crítico-transformadora de professores de Física, o estudo da historicidade do conhecimento científico é imprescindível.

[...] como um tempo de acontecimentos humanos, a história é feita pelos homens, ao mesmo tempo que nela se vão fazendo também. E, se o quefazer educativo, como qualquer outro quefazer dos homens, não pode dar-se a não ser "dentro" do mundo humano, que é histórico-cultural, as relações homens-mundo devem constituir o ponto de partida de nossas reflexões sobre aquele quefazer. (FREIRE, 2011, p. 103)

A consideração da História da Ciência como elemento fundamental da formação crítico-transformadora implica em refletir sobre alguns pontos que julgo importantes. Primeiramente, é preciso entender que o estudo da História da Ciência na formação

de professores tem problemas que não podem ser ignorados. É necessário que se reconheça que a inclusão por si só da História da Ciência nos currículos a partir de disciplinas especiais não é suficiente. Neste instante, é importante que os cursos revejam os objetivos destas disciplinas, suas ementas, suas cargas horárias, entre outros pontos. Além disso, é imperativo um olhar mais apurado sobre a própria formação dos docentes universitários, não somente aqueles que ministram estas disciplinas, mas também aqueles que trabalham nas disciplinas específicas de Física.

Estes problemas não devem ser vistos como intransponíveis. Entretanto a concepção de formação crítico-transformadora implica em repensar toda a licenciatura, e também o bacharelado, se consideramos um nível mais amplo. Isto significa refletir sobre o corpo docente, os currículos e os propósitos dos cursos, no sentido de dar uma identidade própria de formação de professores.

Um terceiro aspecto é a condução do estudo do viés histórico da Ciência. Se a formação crítico-transformadora subentende a compreensão do conhecimento científico como historicamente construído, esse viés deve estar presente ao longo de toda a formação de professores de Física. Isso significa que não se pode somente reduzir a discussão histórica em disciplinas especiais, mas que ela deve também estar presente na discussão dos conceitos da Física, realizada dentro das disciplinas específicas.

Sendo assim, é crucial a discussão e adoção de novas abordagens para o estudo da História da Ciência, de modo que promova a formação crítico-transformadora de professores de Física. Estas novas abordagens devem evidenciar o caráter dinâmico da Física, menos autoritário e construído com a colaboração de homens e mulheres comuns que trabalharam para sua consolidação. Nesta mesma perspectiva, também é possível trabalhar sobre a questão dos materiais didáticos, incentivando atividades que preparem os futuros professores a elaborarem seus próprios materiais, a partir da consulta adequada de fontes primárias e secundárias, sempre levando em conta os perigos das distorções históricas.

A fim de que o professor, como um crítico-transformador, trabalhe com seus alunos de forma integradora e problematizadora, estas novas abordagens também devem incluir e promover momentos que o coloquem diretamente com a problemática da sala de aula. O licenciando, assim, deve vivenciar situações que permitam o florescimento de sua ação crítico-transformadora no Ensino. Todas estas questões convergem para a necessidade de pensar e propor estas novas abordagens, no intuito de efetivamente promover uma formação crítico-transformadora na Licenciatura em Física.

CAPÍTULO 3 – A ABORDAGEM MULTICONTEXTUAL DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA (AMHIC)

Como promover a formação crítico-transformadora de futuros professores de Física a partir do ensino contextualizado da História da Ciência?

A pergunta acima emerge a partir dos aspectos levantados nos dois capítulos anteriores e sintetiza na forma de questão o problema de pesquisa colocado na Introdução desta tese. Por um lado, a formação crítico-transformadora assume importância na licenciatura à medida que promove uma consciência crítica e transformadora, com a percepção de que o professor é agente ativo do mundo e de que o ensino não é transferência de conhecimento, e sim construção de significado. Por outro lado, a História da Ciência, ao estar atrelada à formação crítico-transformadora, surge como potencial facilitador da promoção dessa formação, uma vez que evidencia as diversas nuances do processo de construção do conhecimento científico, possibilitando uma visão mais clara e crítica da Ciência, e coloca o professor como ser histórico-social, parte dessa construção.

A confluência da formação crítico-transformadora e do estudo da História da Ciência implica na elaboração de uma abordagem diferenciada, que permita o enriquecimento dessa relação ao longo de toda a licenciatura. A construção dessa abordagem carrega consigo as bases teóricas da formação crítico-transformadora e os assuntos referentes à implementação da História da Ciência no Ensino.

A abordagem elaborada para trabalhar a História da Ciência na Licenciatura em Física, com o propósito de desenvolver a formação crítico-transformadora dos licenciandos, foi denominada de *Abordagem Multicontextual da História da Ciência* (AMHIC).

A Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC) é fundamentada na concepção de ensino contextualizado²² e constituída por dois elementos principais:

²² Na literatura especializada, há outras propostas de ensino contextualizado para diferentes âmbitos do ensino. Destaco a proposta de Klassen (2006), que discute o ensino de conceitos

os episódios históricos e os contextos de estudo. Os contextos formam as diferentes dimensões de estudo pelas quais os episódios históricos podem ser trabalhados. De forma integrada, os contextos concebem uma visão abrangente dos episódios, dos conceitos científicos que os permeiam, de seus aspectos epistemológicos, filosóficos e sociológicos e da forma como podem ser trabalhados no Ensino de Ciências. O estudo contextualizado dos episódios a partir dos contextos fornece aporte para a promoção da formação crítico-transformadora, uma vez que esta visão ampla possibilita o desenvolvimento de abordagens problematizadoras, que favorecem a construção dos saberes e posturas esperadas para esta formação.

Para a elaboração da AMHIC, em primeiro lugar, foi necessário estabelecer a definição de episódio histórico adotada na tese. Esta definição deveria ser fundamentada no viés da problematização, a fim de estabelecer um conjunto de características que um episódio histórico deveria ter para possibilitar uma abordagem problematizadora. Além disso, deveriam ser consideradas questões operacionais, como os possíveis âmbitos de aplicação de AMHIC e a disponibilidade de materiais para trabalhar com os episódios.

A segunda etapa foi a escolha e definição sobre quais contextos comporiam a AMHIC. Isto deveria ser baseado nos referenciais teóricos discutidos no Capítulo 1 e na observância das questões envolvendo a relação entre História da Ciência e Ensino apontadas no Capítulo 2, além de levar em conta princípios da Historiografia da Ciência atual. Os contextos deveriam ser tais a permitir uma análise abrangente e detalhada de todo o viés problematizador advindo dos episódios históricos. A partir dessas considerações, foi estabelecido que a AMHIC fosse composta por três contextos:

- Científico;
- Metacientífico;

científicos a partir de cinco contextos (prático, teórico, social, histórico e afetivo) e tem como ponto principal o uso de narrativas.

- Pedagógico.

As definições de episódio histórico e dos contextos funcionam como elementos norteadores da estruturação da AMHIC. Isto implica que estas definições não são fechadas e absolutas, mas que nesse momento inicial da proposta se fizeram necessárias para que fosse possível um delineamento sobre como a AMHIC poderia ser trabalhada na Licenciatura em Física com o propósito de promover a formação crítico-transformadora dos futuros professores.

Nas próximas seções, abordarei, primeiramente, a questão dos episódios históricos e do viés problematizador neles imbuídos. Em seguida, discutirei detalhadamente cada um dos contextos componentes da AMHIC.

3.1. Os episódios históricos e o viés problematizador

Os episódios históricos desempenham um papel fundamental na composição da Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC), à medida que formam o tema de estudo de uma abordagem contextualizada.

Na AMHIC, "episódio histórico" é definido como um conjunto de acontecimentos relacionados entre si, de forma dependente ou independente, tendo um aspecto central comum. Por esta perspectiva, diferentes tipos de encadeamentos podem ser classificados como um episódio histórico, desde aqueles que ocorreram em um curto intervalo de tempo ou que envolveram um número pequeno de pessoas quanto aqueles que abrangeram décadas e estiveram relacionados às ideias de diversos indivíduos. Entretanto, uma única cadeia de eventos pode ser dividida em outras menores, que, tendo um tema central em comum, também podem ser classificadas como episódios históricos.

Na AMHIC, os episódios históricos são trabalhados a partir de um viés problematizador, no sentido explorado por Freire (2011, p. 112):

A tarefa do educador, então, é a de problematizar aos educandos o conteúdo que os mediatiza, e não a de dissertar sobre ele, de dá-lo, de estendê-lo, de entregá-lo, como se se tratasse de algo já feito, elaborado, acabado, terminado.

A opção por um viés problematizador vem no sentido de dar um novo encaminhamento para o estudo da História da Ciência na formação de professores. Isso significa que as discussões sobre as questões históricas da Ciência, na AMHIC, não se limitam à exposição de datas, pessoas e feitos, mas que essas questões sejam efetivamente tratadas como problemas a serem trabalhados. A problematização dos episódios históricos implica que estes não sejam abordados como uma simples coleção de anedotas a serem introjetadas automaticamente na mente dos licenciandos, mas como uma reunião de elementos a serem colocados em discussão.

No viés problematizador dos episódios históricos, são extraídos pontos que podem ser tratados como problemas. Contudo, para que isso ocorra, estes pontos a serem problematizados devem fazer sentido ao licenciando, de modo a instigá-los a pensar sobre eles. Como aponta Delizoicov (2001, p. 133):

Se de um lado o professor procura as possíveis inconsistências internas aos conhecimentos emanados das distintas falas dos alunos para *problematizá-las*, tem, por outro, como referência implícita, o problema que será formulado e explicitado para os alunos no momento oportuno, bem como o conhecimento que deverá desenvolver como busca de respostas. A intenção é ir tornando significativo, para o aluno, o problema que oportunamente será formulado.

A formulação de um problema a partir dos episódios históricos pode partir de diversas fontes. Por um lado, por exemplo, pode-se problematizar um conceito científico presente no episódio, considerado obsoleto atualmente ou não, e tratá-lo de forma a analisar sua estrutura teórica e seu processo de construção, revelando características inerentes ao fazer científico. Por outro lado, pode-se colocar como problema a influência de questões sociais e culturais na aceitação ou rejeição de ideias científicas, analisando seus processos de recepção, propagação ou negação pela comunidade científica e as questões extracientíficas envolvidas nisso.

A partir da atuação do docente como um questionador, aos licenciandos são fornecidos subsídios para que pensem, interroguem e coloquem suas concepções em jogo. Sendo assim, a problematização dos episódios históricos configura-se no momento em que um novo conhecimento deve ser buscado, uma compreensão mais abrangente da Ciência e das questões envolvidas em sua construção.

O ponto culminante da problematização é fazer com que o aluno sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém, ou seja, procura-se configurar a situação em discussão como um *problema* que precisa ser enfrentado. (DELIZOICOV, 2001, p. 143)

Na abordagem problematizadora dos episódios históricos, a formulação de um problema visa instigar o licenciando a pensar criticamente, e não apenas aceitar como verdades absolutas os acontecimentos em questão. A partir deste pensamento crítico, o licenciando tem subsídios para construir a percepção de que é um ser histórico-social e, portanto, faz parte dessa história e pode transformá-la.

3.2. Os contextos da AMHIC

Quais contextos são importantes para trabalhar a História da Ciência na formação de professores, num viés de formação crítico-transformadora? A resposta a esta pergunta foi construída à medida que se buscou na própria concepção de formação crítico-transformadora os elementos necessários para a definição de contextos.

A formação crítico-transformadora tem cinco elementos básicos: o diálogo crítico com o mundo, o entendimento do professor como formador de cidadãos e cidadãs, a compreensão de que a Física se relaciona com outras áreas do conhecimento, a promoção de um Ensino de Física mais dinâmico e a percepção de que a Física é um conhecimento historicamente construído. Dessa forma, foi imperativo que a definição dos contextos da Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC) tenha levado em conta o propósito de promover e desenvolver estes elementos. Além disso, os contextos da AMHIC devem permitir que a utilização da

abordagem não se restrinja somente a disciplinas de História da Ciência, mas que seja também aplicável em diferentes momentos da formação de professores.

Os contextos da AMHIC se configuram como dimensões de estudo dos episódios históricos, pelas quais o problema inicial é analisado; são perspectivas de análise que, juntas, dão significado ao todo. No viés problematizador dos episódios históricos, os contextos são os caminhos para a resolução da inquietação provocada no início da abordagem.

A AMHIC é constituída por três contextos: *científico*, *metacientífico* e *pedagógico*. O *contexto científico* trata dos conceitos científicos presentes nos episódios, analisados tanto por uma vertente prática quanto teórica. O *contexto metacientífico* aborda as questões históricas, epistemológicas, culturais, filosóficas e sociológicas dos episódios. Por fim, o *contexto pedagógico* trabalha os saberes didático-pedagógicos necessários para o licenciando mobilizar estes conhecimentos em sua futura prática docente.

A definição dos contextos componentes da AMHIC não implica que a análise dos episódios históricos seja rigorosamente separada, como se a cada momento pudéssemos olhar somente sob uma perspectiva, seja ela científica, metacientífica ou pedagógica. Os contextos se inter-relacionam e o estudo dos episódios pode perpassá-los em diversos momentos. A definição vem no sentido de estabelecer *quais* perspectivas são importantes em uma proposta que visa fomentar a formação crítico-transformadora, não sendo apenas um ato de conveniência, mas uma reflexão sobre quais pontos de vista podem favorecer o desenvolvimento desta formação.

Contexto científico

A discussão sobre a historicidade da Ciência envolve, evidentemente, o trato com conceitos científicos. Estes conceitos são o produto da Ciência, gerados a partir de suas estruturas teóricas internas e o contexto da época em que é produzido. O

entendimento do desenvolvimento e estrutura destes conceitos como parte integrante do processo histórico da Ciência é indissociável de sua compreensão como um empreendimento essencialmente humano.

Na Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC), o *contexto científico* é a dimensão de estudo dos episódios históricos em que são analisados os conceitos científicos imersos nele. Isso não se reduz ao entendimento acrítico dos conceitos, como regras a serem decoradas, mas à compreensão de sua gênese, estrutura e validade dentro do contexto em que foi produzido. O estudo dos episódios históricos por meio do *contexto científico* aproxima a historicidade do conhecimento, ao deixar claro que todo conhecimento é, por si só, histórico e, portanto, mutável.

A dimensão científica pode ser dividida em duas vertentes que se complementam, a prática e a teórica. A vertente prática trabalha na esfera das questões experimentais envolvidas no desenvolvimento dos conceitos científicos tratados pelo episódio; a vertente teórica aborda os aspectos conceituais. Novamente, é importante ressaltar que esta divisão em vertentes é apenas aparente e colocada para delimitar perspectivas importantes em uma abordagem contextualizada da História da Ciência. Não se trata, portanto, de um reducionismo entre experimentação e teoria, mas do apontamento de que as duas convergem no processo de construção da Ciência.

A Ciência e sua história são marcadas muitas vezes pelo protagonismo da experimentação. Não por acaso, livros e materiais de divulgação bradando os "10", "50" ou "100 experimentos mais importantes da Ciência" não deixam de ocupar as prateleiras das livrarias especializadas. Entretanto, estes materiais geralmente se restringem a comentar que estes experimentos foram importantes porque demonstraram uma ou outra ideia científica, corroboraram para a consolidação de uma teoria etc., não trabalhando sobre as questões por trás de sua elaboração. Em uma proposta de formação crítico-transformadora, é preciso mais que a noção da

importância dos experimentos para a Ciência; é fundamental entender as razões da sua criação e as questões levadas em conta nesse processo.

As discussões sobre a História da Ciência na formação de professores de Física – e também no bacharelado – são calcadas majoritariamente na discussão teórica. Aliás, quando se pensa em abordar a História da Ciência, quase imediatamente vem a associação com a figura de alguém debruçado sobre uma mesa folheando um livro. Esse foco excessivo no campo teórico, por ser superficial, ceifa o entendimento de outras questões importantes além da esfera conceitual.

A vertente prática não concerne somente aos ditos experimentos históricos, uma vez que, por ser a Ciência parte da História, todo experimento científico é histórico. A questão, portanto, não está em ressaltar um ou outro experimento, mas deixar claro que toda a atividade prática na Ciência tem uma importância histórica e está imersa de valores, posturas e elementos inerentes ao desenvolvimento do conhecimento científico.

Nesta perspectiva de trabalhar os aspectos práticos de episódios históricos, destaca-se o trabalho do antigo *Research Group on Higher Education and History of Science* do Departamento de Física da Universidade de Oldenburg, na Alemanha. Pesquisadores desse grupo discutiram as possibilidades de aprendizado utilizando réplicas de experimentos históricos (HÖTTECKE, 2000; HEERING, 2006, 2007a, 2007b; RIESS et. al., 2005).

Segundo Höttecke (2000), as diversas propostas para incluir História da Ciência no currículo desconsideram as questões práticas da Ciência, sendo restritas em grande parte à pesquisa de fontes textuais. O autor defende que "se os estudantes se engajam na replicação de experimentos históricos o mais próximo possível dos originais, eles terão a oportunidade de descobrir mais sobre as condições específicas da situação experimental" (HÖTTECKE, 2000, p. 344).

O método defendido pelo grupo de Oldenburg consiste em replicar um experimento histórico não só em relação ao fenômeno que ele apresenta, mas

também levando em consideração os aspectos materiais do experimento, ou seja, construir aparatos idênticos aos originais utilizados pelos cientistas. Isto é um processo que exige, em primeiro lugar, a obtenção dos materiais e montagem iguais ou muito próximos dos originais e, em segundo lugar, pessoas capazes de montá-los.

Höttecke (2000) utiliza como exemplo um aparato construído por Michael Faraday (1791-1867) para discutir a relação entre eletricidade e magnetismo, afirmando que:

O método de replicação permite que o aprendizado da Ciência esteja ligado ao aprendizado de sua História de um modo muito vívido. É possível [por meio deste método] representar a Ciência como uma ação intelectual e habilidosa. (HÖTTECKE, 2000, p. 347)

Na realidade do ensino superior brasileiro, a replicação seria impraticável. Além de exigir materiais que geralmente não são encontrados com facilidade no mercado, há poucos profissionais hábeis a construir aparatos que se assemelhem aos originais, qualquer que seja o episódio estudado. Ademais, como Höttecke (2000, p. 346) constata, "as fontes textuais usualmente não incluem uma detalhada descrição dos procedimentos experimentais", dificultando ainda mais o processo.

De outra perspectiva, Metz e Stinner (2006) defendem o método da representação histórica. Este método consiste na reprodução de experimentos históricos respeitando suas características principais, mas sem a necessidade de obter réplicas exatas, ou seja, utilizando os mesmos materiais dos originais, levando em conta as mesmas condições do ambiente, etc. Segundo eles, o método da replicação, embora relevante para discutir o aspecto prático da Ciência, não pode ser implementado amplamente com facilidade. Utilizando narrativas históricas (METZ, KLASSEN, *et al.*, 2007) para engajar e motivar os estudantes, os autores propõem que os estudantes desenvolvam seus próprios aparatos experimentais, utilizando materiais acessíveis tais como fitas adesivas, canudos e latas.

Ao se tornarem os elaboradores dos instrumentos, os estudantes têm uma experiência similar à replicação de experimentos. Eles se apropriam de seus aparatos, que são dependentes de sua atenção e técnica, e

geralmente requerem um pequeno ajuste ou modificação para maximizar suas eficiências. (METZ e STINNER, 2006, p. 6)

Metz e Stinner (2006) afirmam que a narrativa histórica deve ser apresentada aos estudantes em quatro passos: introdução, delineamento experimental, resultados experimentais e análise e interpretação dos dados e explicação.

A parte introdutória da narrativa estabelece o contexto, inclui algumas informações biográficas e levanta um problema e/ou confronto. Os estudantes podem pesquisar a introdução ou isto pode ser escrito e apresentado diretamente pelo professor [...]. Na fase seguinte, grupos de estudantes se debruçam colaborativamente em relação ao problema ou confronto, propondo uma questão experimental e esquematizando uma solução para o problema. A segunda parte da narrativa é apresentada aos estudantes, que comparam e contrastam suas ideias com o trabalho original. Depois de refletir e revisar, um experimento é realizado de forma semelhante ao experimento histórico [...]. Seguindo a obtenção dos dados, a terceira parte da narrativa é revelada aos estudantes e eles mais uma vez comparam e contrastam suas ideias com o trabalho original. Depois de alguma reflexão e possivelmente alguma outra experimentação, um modelo explicativo é elaborado. No estágio final, retornamos ao trabalho original e começamos a formalizar explicações científicas. (METZ e STINNER, 2006, p. 7)

Uma boa revisão do que é considerado experimento histórico pode ser encontrada em Chang (2011). O autor apresenta uma tipologia para classificar os experimentos históricos, segundo uma replicação mais histórica, como o caso de Höttecke (2000), ou mais física ou conceitual, em que o propósito é reproduzir o fenômeno que foi observado no experimento histórico, não ele em si. Chang menciona ainda um tipo de trabalho que ele classificou como *extensão*, que se refere à realização de um experimento adicional, movida pela curiosidade natural de ver "o que acontece se eu fizer *isso*?" (2011, p. 320). Segundo Chang (2011), os experimentos históricos podem ter vários propósitos, entre eles a compreensão da Ciência antiga, o desenvolvimento de nossa compreensão sobre a Natureza da Ciência e o aperfeiçoamento do conhecimento científico.

No âmbito da AMHIC, e buscando fundamento na discussão acima, o estudo dos episódios históricos pela vertente prática do *contexto científico* se aproxima da ideia

de representação histórica proposta por Metz e Stinner (2006) e se enquadra na tipologia de replicação física de Chang (2011). Isto significa que o estudo dos aspectos experimentais envolvidos nos episódios pela AMHIC não deve se concentrar na reprodução exata de materiais e condições em que os experimentos originais foram executados, mas no processo de construção. Evidentemente, a reprodução exata dos materiais e das condições também traz consigo questões inerentes ao desenvolvimento da Ciência, uma vez que retratam o contexto da época em que foi produzida, as dificuldades enfrentadas pelos cientistas, entre outros pontos. Contudo, acredito que o ponto crucial deva ser o processo de estruturação do conhecimento e como ele foi capaz de explicar o fenômeno envolvido, uma vez que a formação crítico-transformadora pressupõe o entendimento deste tipo de questão como requisito fundamental para a compreensão mais ampla do processo de construção do conhecimento científico e, conseqüentemente, da percepção do licenciando como ser histórico-social.

A inclusão destas atividades práticas na abordagem contextualizada da História da Ciência para futuros professores de Física pode oferecer a oportunidade de o estudante conferir por si mesmo pontos experimentais chave de um episódio histórico, possibilitando uma compreensão mais completa dos parâmetros e pressupostos envolvidos nele. A observação e análise destes pontos chave são suficientes para que o licenciando desenvolva sua formação crítico-transformadora, à medida que entende que a prática na Ciência não constitui apenas no cumprimento de passos pré-determinados, como "receitas de bolo", mas pode envolver questões que não ficam claras apenas na leitura dos trabalhos originais ou em reproduções superficiais dos mesmos, tais como a adoção de ideias metacientíficas, o uso de variados métodos, a mudança de raciocínio, entre outras.

Na mesma perspectiva e complementando a vertente prática do *contexto científico*, a discussão dos conceitos teóricos também pode ser importante, uma vez que a apresentação de um episódio histórico que envolve conceitos científicos – mesmo que sejam obsoletos atualmente – sem discuti-los é estéril, pois entrega ao aluno apenas uma visão superficial, sem conteúdo. Não se trata, contudo, de

simplesmente mostrar um conceito ou uma equação, como se a tarefa do licenciando fosse decorá-los, mas de esmiuçá-lo, no sentido de desvelar suas nuances teóricas, denotando aspectos inerentes ao desenvolvimento da Ciência e à sua própria estrutura e preceitos.

O verdadeiro entendimento sobre a razão de ser de um conceito científico só acontece a partir da elucidação de sua origem e estrutura interna, caso contrário, tem-se apenas um doutrinamento científico. Como aponta Martins (1990, p. 4):

Sem a História, não se pode também conhecer e ensinar a base, a fundamentação da Ciência, que é constituída por certos fatos e argumentos efetivamente observados, propostos e discutidos em certas épocas. Ensinar um resultado sem a sua fundamentação é simplesmente doutrinar e não ensinar ciência.

Além disso, a análise dos aspectos teóricos de um episódio histórico evidencia como a Ciência passa por constantes transformações ao longo dos séculos. Como ressalta Martins (2006, p. xxii), "apenas gradualmente as ideias vão sendo aperfeiçoadas, através de debates ou críticas, que muitas vezes transformam totalmente os conceitos iniciais", ou seja, entender as questões conceituais de um episódio histórico contribuiu para entender o processo científico como um contínuo em desenvolvimento. Isto também é válido para os conceitos científicos obsoletos presentes em alguns episódios históricos. Discuti-los não mostra a fragilidade da Ciência, mas como ela se reconstrói constantemente no sentido de apresentar modelos que consigam explicar os fenômenos naturais.

A discussão de conceitos teóricos em episódios da História da Ciência aparece em destaque em estudos históricos em diferentes áreas, tais como sobre a teoria da relatividade (SIMON, 2005; MARTINS, 2005), cosmologia (HENRIQUE, 2011), óptica (SILVA, 1996; MOURA, 2008), eletromagnetismo (MARTINS, 1986b; SILVA, 2006) e mecânica (ASSIS, 1998). Nestes trabalhos, a elucidação de questões teóricas desempenha papel importante na compreensão do episódio e na percepção de que a construção do conhecimento científico não é trivial e fruto de *insights*.

Quando abordo a importância da análise de aspectos práticos e teóricos de um episódio histórico, não defendo uma abordagem completamente *internalista*²³ da História da Ciência, mas um equilíbrio entre o entendimento das questões internas e externas da Ciência. Este último ponto estará coberto na dimensão de estudo do *contexto metacientífico*, que discutirei na seção seguinte. Novamente, ressalto que os contextos de estudo dos episódios representados pelos contextos não são fechados uns aos outros, mas se relacionam à medida que não é possível dissociar o desenvolvimento do conhecimento científico das conjunturas em que ele foi produzido e da sua análise sob o ponto de vista da sala de aula no propósito imbuído na formação crítico-transformadora.

Uma abordagem contextualizada dos episódios históricos que não leve em conta o estudo dos conceitos científicos, além de não ser contextualizada, torna-se uma mera descrição de acontecimentos. Para compreendê-los em uma perspectiva de formação crítica, é preciso conhecer seus problemas teóricos e experimentais, inclusive para que os licenciandos possam estabelecer relações com fatores externos que possam ter desempenhado parte essencial no episódio, que serão estudados a partir do *contexto metacientífico*. Como ressalta Martins (2004, p. 132),

Uma descrição da ciência que não inclua os aspectos técnicos da pesquisa científica pode ser feita e pode ter méritos, mas nunca será uma descrição *completa*. Ela será incapaz de entender muitos dos aspectos da ciência.

A partir dos argumentos acima, é possível concluir que a discussão de aspectos práticos e teóricos dos episódios históricos pode trazer mais significado à Ciência, colocando-a como um conhecimento historicamente construído e, por isso, mutável e repleto de nuances. A compreensão destes pontos traz a percepção de que o

²³ A abordagem *internalista* da História da Ciência consiste na consideração apenas dos problemas históricos internos à Ciência, sem levar em conta o contexto social e cultural no qual aconteceram. Esta se contrapõe à abordagem *externalista*, mais direcionada a compreender a influência de fatores externos. Para entender de forma mais detalhada o embate entre estas duas abordagens, sugiro a leitura de Alfonso-Goldfarb (1994).

conhecimento científico é naturalmente histórico e, por ser o homem agente histórico-social, ele exerce função vital no desenvolvimento da Ciência.

O estudo da História da Ciência por meio do *contexto científico* é importante em um propósito de formação crítico-transformadora porque ilustra a estrutura de concepção do conhecimento científico. Os licenciandos, ao se tornarem cientes de que o processo de construção da Ciência é histórico como eles mesmos, tornam-se mais críticos, no sentido de saberem se posicionar e argumentar sobre as questões envolvendo a Ciência, e mais transformadores, à medida que se entendem capazes de fazer de suas posturas, ação.

Contexto metacientífico

O estudo da História da Ciência na perspectiva da formação crítico-transformadora implica na análise dos episódios históricos a partir de uma dimensão externa à Ciência, que denomino de *contexto metacientífico*. Na Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC), o *contexto metacientífico* envolve olhar para os episódios de fora, procurando estabelecer a presença de aspectos históricos, epistemológicos, filosóficos, sociológicos e culturais no desenvolvimento do conhecimento científico. Complementa-se, assim, a visão introduzida a partir do *contexto científico*.

A produção do conhecimento científico passa pela consideração de questões inerentes à própria estrutura da Ciência, ou seja, a como ela se coloca enquanto modelo explicativo para o mundo. Na literatura, são vários os pesquisadores que se propuseram a clarificar os aspectos metacientíficos da Ciência, no sentido de argumentar sobre a forma como o conhecimento científico é organizado, propagado, aceito ou rejeitado, a maneira como os cientistas ou grupo de cientistas estruturam e compartilham suas ideias, etc.

Nesse sentido, destacam-se, por exemplo, os trabalhos de Thomas Kuhn, especialmente seu *A estrutura das revoluções científicas* (KUHN, 2006), apreciado

até os dias atuais como um marco importante para a definição moderna da Ciência. Este trabalho de Kuhn pode ser considerado precursor dessa busca por entender os meandros da Ciência, uma vez que as ideias de outros teóricos hoje tidos como importantes – como Imre Lakatos ou Paul Feyerabend – ainda não haviam sido traduzidas para a língua inglesa na época de sua publicação (OSTERMANN, 1996).

As ideias centrais dos trabalhos de Kuhn (2006) são: paradigma na Ciência, ciência normal e revolução científica. Segundo suas concepções, estes três elementos são capazes de descrever como o conhecimento se consolida, mas como ele também pode ser modificado.

Para Kuhn (2006), a Ciência se sustenta sobre paradigmas, que funcionam como um conjunto de pressupostos, preceitos e regras a serem seguidas por uma comunidade científica. O paradigma é o elemento diretor da produção do conhecimento, pois todo e qualquer conhecimento deve estar baseado nele.

Os paradigmas adquirem seu status porque são mais bem sucedidos que seus competidores na resolução de alguns problemas que o grupo de cientistas reconhece como graves. (KUHN, 2006, p. 44)

Na concepção de Kuhn (2006), uma Ciência madura é governada por apenas um paradigma. Os cientistas que trabalham dentro deste paradigma praticam o que o autor chama de ciência normal. O papel dessa ciência normal é aumentar cada vez mais a correspondência entre o mundo natural e o paradigma vigente, ou seja, melhorar a estrutura do paradigma, a fim de que ele se consolide cada vez mais.

A partir dessas concepções, Kuhn (2006) argumenta que os cientistas dentro da ciência normal têm a função de resolver quebra-cabeças, a fim de adequar os modelos explicativos dos fenômenos naturais dentro da estrutura do paradigma vigente.

A ciência normal consiste na atualização dessa promessa [de sucesso do paradigma], atualização que obtém ampliando-se o conhecimento daqueles fatos que o paradigma apresenta como particularmente relevantes, aumentando-se a correlação entre esses fatos e as predições do paradigma e articulando-se ainda mais o próprio paradigma. (KUHN, 2006, p. 44)

Os problemas e dificuldades de encaixar modelos explicativos dentro de um paradigma são encarados, a princípio, como responsabilidade dos próprios cientistas, que não souberam ajustar adequadamente os novos conhecimentos. Estes problemas são classificados como anomalias dentro da ciência normal.

Entretanto, o aumento das anomalias causa uma instabilidade na sustentação do paradigma. Embora, para Kuhn (2006), seja normal a existência de anomalias dentro da ciência normal, a resistência de algumas delas e sua consolidação como modelo alternativo de explicação contribui para solapar a confiabilidade do paradigma vigente. O autor comenta sobre vários exemplos em que isso ocorreu, tais como a mudança do sistema geocêntrico de Ptolomeu para o sistema heliocêntrico copernicano entre os séculos XVI e XVII ou a crise na física clássica entre os séculos XIX e XX e a emergência da Teoria da Relatividade.

Na ciência, assim como na experiência com as cartas do baralho, a novidade somente emerge com dificuldade (dificuldade que se manifesta através de uma resistência) contra um pano de fundo fornecido pelas expectativas. Inicialmente experimentamos somente o que é habitual e previsto, mesmo em circunstâncias nas quais mais tarde se observará uma anomalia. Contudo, uma maior familiaridade dá origem à consciência de uma anomalia ou permite relacionar o fato a algo que anteriormente não ocorreu conforme o previsto. Essa consciência da anomalia inaugura um período no qual as categorias conceituais são adaptadas até que o que inicialmente era considerado anômalo se converta no previsto. (KUHN, 2006, p. 90)

Quando a crise se instaura e um novo paradigma é estabelecido, incide o que Kuhn (2006) chamou de revolução científica. Nesta revolução, ocorre a substituição do paradigma antigo por um novo, que inaugura uma nova fase de ciência normal.

Por meio dessa argumentação, Kuhn (2006) buscou delinear o processo de construção do conhecimento científico, indicando que a Ciência se refere muito mais a um processo que a seus produtos. O caminho percorrido pela Ciência se estabelece a partir de etapas que tem relações diretas e indiretas com o conhecimento científico.

Um aspecto importante do trabalho de Kuhn (2006) é a ideia da incomensurabilidade das teorias científicas. Para o autor, não é possível comparar ideias científicas produzidas sob a influência de paradigmas diferentes, pois elas não se comunicam. Cada uma dessas ideias foi construída sobre bases e pressupostos diferentes. Por isso, não é possível argumentar sobre a superioridade de uma teoria sobre a outra, pois ambas não partem de bases comuns. Alfonso-Goldfarb (2004, p. 85) resume esta ideia:

[...] o novo paradigma não engloba nem deriva do velho, nada nos garante a superioridade de um sobre outro. Portanto, a ciência moderna não pode ser considerada como superior à ciência antiga. Ela pode ter sido com suas máquinas, seus experimentos, mais *operativa sobre a natureza, mas não mais correta* do que as ciências anteriores ou as diferentes dela.

Não é foco nesta tese argumentar sobre a validade do modelo kuhniano, mas vale destacar a compreensão que o autor busca com seu modelo sobre a construção da Ciência. As reflexões de Kuhn (2006) trazem a ideia central na argumentação sobre o *contexto metacientífico* de que o estudo do caráter histórico do conhecimento científico também envolve o estudo sobre seu processo de construção.

De outra perspectiva, destaco a visão anarquista de Ciência trazida por Paul Feyerabend em seu *Contra o método* (FEYERABEND, 2007). Em linhas gerais, o autor advoga contra a existência de um racionalismo para descrever o processo de construção do conhecimento científico, afirmando que a Ciência é um empreendimento essencialmente anárquico. Para ele, na Ciência "tudo vale" (Idem, p. 43).

Por meio desta ideia, Feyerabend (2007) não busca apresentar uma nova metodologia para estudar o desenvolvimento da Ciência, mas argumentar que quaisquer que sejam, as metodologias têm falhas. Nesse sentido, segundo ele, os cientistas devem ter uma visão pluralista da Ciência, a fim de compreender seus aspectos mais profundos.

Um cientista interessado em obter o máximo conteúdo empírico, que seja compreender tantos aspectos de sua teoria quanto possível, adotará uma

metodologia pluralista, comparará teorias com outras teorias, em vez de com "experiência", "dados" ou "fatos", e tentará aperfeiçoar, e não descartar, as concepções que aparentemente estão sendo vivenciadas na competição. (FEYERABEND, 2007, p. 63)

Feyerabend (2007) também aborda a incomensurabilidade entre a Ciência e outras formas de conhecimento, afirmando que a primeira não pode ser considerada superior. Por esta razão, em uma nação democrática, a Ciência também deveria ser separada do Estado, assim como é a religião em nações laicas. A postura do autor toma forma no seguinte trecho de *Contra o método*:

Para resumir: não há uma "visão de mundo científica", assim como não há um empreendimento uniforme denominado "ciência" – exceto na mente dos metafísicos, mestres-escolas e políticos que tentam tornar sua nação competitiva. Ainda assim, há muitas coisas que podemos aprender das ciências. Mas também podemos aprender das humanidades, da religião e dos remanescentes de tradições antigas que sobreviveram ao furioso assalto da Civilização Ocidental, nenhuma área é unificada e perfeita, poucas áreas são repulsivas e completamente despidas de mérito. Não há nenhum princípio objetivo que possa nos afastar do supermercado "religião" ou do supermercado "arte" e possa nos conduzir para o mais moderno, e muito mais caro, supermercado "ciência". (FEYERABEND, 2007, p. 333)

A argumentação radical de Feyerabend (2007) ilustra como as questões externas ao conhecimento científico também são alvo de discussão e podem suscitar uma compreensão mais abrangente da Ciência e da construção do conhecimento científico. Em uma abordagem contextualizada da História da Ciência que vise a formação crítico-transformadora, a análise destas questões torna-se fundamental para o desenvolvimento de uma percepção mais clara sobre como o conhecimento científico é construído e como as concepções e influências dos e sobre os homens exercem um papel determinante.

O estudo dos episódios históricos pelo *contexto metacientífico* implica explorar questões envolvendo a natureza do fazer científico, as influências de fatores externos que podem atuar diretamente sobre as posturas e decisões de um cientista ou grupo de cientistas, o domínio de posições ideológicas, religiosas e culturais distintas, acontecimentos históricos ligados, por exemplo, a movimentos sociais ou

culturais, o surgimento de dilemas filosóficos ou éticos relacionados às atitudes e crenças dos cientistas, entre outros.

Por esta razão, analisar um episódio da História da Ciência compreende não apenas entender os conceitos científicos que o cerca, mas também a própria Ciência e os fatores externos que possam ter exercido influência direta ou indireta sobre ela. Isto implica em reconhecer aspectos epistemológicos e sociológicos da Ciência.

O *contexto metacientífico* visa o estudo dos episódios históricos a partir de uma perspectiva externa, minimizando uma visão descontextualizada, socialmente neutra e elitista da Ciência (GIL-PÉREZ, MONTORO, *et al.*, 2001). No âmbito da pesquisa em História da Ciência e Ensino, os aspectos metacientíficos de episódios históricos são usualmente reunidos sob o termo Natureza da Ciência (LEDERMAN, 1992).

Lederman (2007) afirma, de forma geral, que a Natureza da Ciência pode ser definida como um arcabouço de saberes sobre as bases ou princípios epistemológicos envolvidos na construção do conhecimento científico que incorporam, entre outras coisas, as crenças e valores intrínsecos do “fazer Ciência”. Entretanto, nem todos os pesquisadores da área concordam sobre quais são estes aspectos (ALTERS, 1997), mas alguns podem ser considerados consensuais, tais como: a compreensão sobre a inexistência de um método científico universal, as influências de contextos sociais, culturais, religiosos e políticos, entre outros no desenvolvimento, aceitação ou rejeição de ideias científicas, o papel da imaginação na elaboração de teorias e hipóteses, os erros e acertos cometidos pelos cientistas ao longo de suas atividades e muitos outros.

McComas *et. al.* (1998, p. 513) resume alguns deles:

- O conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter provisório;
- O conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não totalmente, na observação, em evidências experimentais, em argumentos racionais e no ceticismo;

- Não existe uma única maneira de se fazer Ciência (portanto, não existe um método científico universal);
- A Ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais;
- Leis e teorias desempenham diferentes papéis na Ciência, portanto os estudantes devem notar que as teorias não se tornam leis mesmo com evidências adicionais;
- Pessoas de todas as culturas contribuem para a Ciência;
- O novo conhecimento deve ser informado clara e abertamente;
- Os cientistas necessitam da preservação registros precisos, revisão e replicabilidade;
- As observações são dependentes da teoria;
- Os cientistas são criativos;
- A História da Ciência revela tanto um caráter evolucionário quanto revolucionário;
- A Ciência é parte de tradições culturais e sociais;
- A Ciência e a Tecnologia se influenciam;
- As ideias científicas são afetadas pelo ambiente histórico e social.

O aprendizado de aspectos da Natureza da Ciência como os listados acima pode favorecer o surgimento de um olhar mais apurado do futuro professor sobre a Ciência e suas relações externas. Por exemplo, ao compreender que o conhecimento científico se constrói não só a partir de experimentos ou de teorias, mas da comunhão entre os dois, um diálogo crítico com a Ciência e com a Física pode ser incentivado. Sob outra perspectiva, o conhecimento de influências do ambiente histórico e social na elaboração das ideias científicas pode facilitar o entendimento da Ciência e da Física como saberes concebidos histórica e culturalmente.

A análise dos episódios históricos pelo *contexto metacientífico* significa pontuar e colocar em discussão aspectos influentes no processo de construção do conhecimento científico. Ao compreender que a Ciência não se representa por seus

produtos, mas pelo seu processo, o licenciando pode adquirir uma postura mais crítica e menos passiva. O entendimento de que o conhecimento científico está ligado a questões maiores e fora do espectro dos conceitos propriamente, fornece subsídios para que o licenciando construa uma visão mais adequada e, principalmente, mais ampla da Ciência.

Na AMHIC, a proposta é que os aspectos da Natureza da Ciência envolvidos nos episódios históricos sejam trabalhados de forma "explícita" (ABD-EL-KHALICK e LEDERMAN, 2000, p. 1088) no *contexto metacientífico*. A escolha pela abordagem explícita implica que os licenciandos saberão quais aspectos da Natureza da Ciência estão sendo trabalhados. Este tipo de abordagem pode propiciar uma maior compreensão dos aspectos, uma vez que o licenciando tem seu olhar direcionado desde o início do estudo do episódio.

A abordagem explícita das questões metacientíficas assume que não se pode esperar, em uma proposta de formação crítico-transformadora, que o licenciando construa uma visão mais adequada da Ciência fornecendo apenas dicas subentendidas, como se fossem charadas a serem descobertas. O formador deve ser claro ao abordar estas questões, a fim de que o licenciando seja constantemente levado a pensar sobre elas.

Contexto pedagógico

A formação crítico-transformadora, com seu propósito de desenvolver nos licenciandos uma visão mais adequada da Física, do Ensino de Física e do papel do educador, não poderia prescindir de momentos que trabalhassem no horizonte da sala de aula. São estes momentos que fazem com que o licenciando se volte ao exercício da docência, que coloque em jogo suas concepções e sua atuação como crítico e intelectual transformador.

Na AMHIC, o *contexto pedagógico* é constituído de momentos que fomentem a construção de saberes didático-pedagógicos para que o licenciando mobilize sua

atitude crítico-transformadora em sua futura prática docente; é olhar para a historicidade do conhecimento pela lente da sala de aula.

No Capítulo 2, discorri sobre algumas pesquisas recentes que abordam a utilização da História da Ciência em sala de aula (FORATO, 2009; MARTINS, 2007). Estas pesquisas têm como uma de suas conclusões a constatação da dificuldade dos professores em lidar com conteúdos históricos, pela falta de afinidade com o tema, de preparo ou de material didático.

Martins (2007), em particular, ao pesquisar a relação de licenciandos e professores com a História da Ciência, conclui, entre outras coisas, que grande parte da dificuldade resvala na falta de momentos específicos nos cursos de formação que trabalhem com a inclusão deste conteúdo em sala de aula; se o futuro professor não refletiu sobre a inclusão de conteúdos históricos no Ensino ou não vivenciou as possibilidades que estes conteúdos podem trazer à sala de aula, por consequência pode enfrentar contratempos quando tiver que lidar efetivamente com isso em sua atividade docente.

Dessa forma, é fundamental que em uma perspectiva de formação crítico-transformadora, a História da Ciência seja também analisada a partir de uma dimensão pedagógica, em que o licenciando se veja imbuído a articular sua atitude crítica com uma postura transformadora. Não é necessária, assim, somente a constatação das dificuldades, dos problemas, dos obstáculos da inclusão da História no Ensino de Ciências, mas a mobilização para que isso se torne motor de uma ação transformadora, que busque minimizar os problemas e otimizar as soluções.

A utilização da História da Ciência em sala de aula pelo futuro professor como maneira de canalizar a formação crítico-transformadora para docência depende, em grande parte, de sua experiência com a área. É importante que ao longo de sua formação, o licenciando tenha momentos específicos para pensar sobre como fazer a ponte entre os episódios históricos e a sala de aula.

O papel da universidade, enquanto instituição formadora, é preparar o futuro professor para que tenha em mãos um conjunto de ferramentas pedagógicas adequado para o contexto atual da educação. Dessa forma, a discussão da História da Ciência deve incluir momentos em que os licenciandos se deparem com aspectos pedagógicos ligados à inclusão de conteúdos históricos em sala de aula. Isto envolve, por exemplo, os parâmetros para incluir História da Ciência no ensino listados por Forato (2009): estabelecimento do objetivo pedagógico pretendido, o conhecimento prévio dos alunos, o nível de aprofundamento dos aspectos epistemológicos que podem ser discutidos, as concepções ingênuas, os materiais a serem utilizados, entre outros.

Pode-se argumentar que o estudo da História da Ciência é apenas um recurso para a sala de aula, no intuito de motivar os estudantes ou incrementar as aulas de Física. Dessa maneira, a História é uma opção, podendo ser ou não ser utilizada pelo professor e, por isso, a presença de um *contexto pedagógico* para a formação crítico-transformadora é mais complementar que obrigatória.

Entretanto, argumento que esta concepção não é adequada. Em seu cerne, a formação crítico-transformadora busca desenvolver no futuro professor um conjunto de elementos que façam com que ele tenha uma postura mais aberta, atuante e abrangente da Ciência, da Física e da Educação. Nesse sentido, uma das características de um professor crítico-transformador é a sua compreensão de que é um ser histórico-social e, portanto, protagonista do desenvolvimento do conhecimento, e não à parte dele. A Física para este professor é um conhecimento historicamente construído, portanto, muito mais representada pelo processo que pelo seu produto. Não há sentido em imaginar que o professor crítico-transformador restrinja sua atuação em sala de aula justamente ao produto, mediante uma visão pragmática do conhecimento. Este professor, ao compreender a Física como processo, também a ensina como tal. Se isso é um pressuposto, a reflexão sobre como trabalhar a História da Ciência em sala de aula deixa de ser opção para ser tornar elemento indispensável. Em uma abordagem contextualizada que busque

promover a formação crítico-transformadora, a presença de um *contexto pedagógico* não é um adendo, mas parte imprescindível.

Na proposta da AMHIC, o caminho para a construção dos saberes didático-pedagógicos para que o licenciando trabalhe com os conteúdos históricos em sua futura atividade docente se dá por meio da reflexão sobre a prática. A análise dos episódios históricos pelo *contexto pedagógico* deve incluir atividades em que os licenciandos sejam instigados a refletir sobre suas atuações como futuros docentes, estimulando elementos da formação crítico-transformadora.

Paulo Freire, ao abordar a reflexão sobre a prática como um dos saberes necessários à prática docente, sintetiza a justificativa por um *contexto pedagógico*:

[...] é fundamental que, na prática da formação docente, o aprendiz de educador assuma que o indispensável pensar certo não é presente dos deuses nem se acha nos guias de professores que iluminados intelectuais escrevem desde o centro do poder, mas, pelo contrário, o pensar certo que supera o ingênuo tem que ser produzido pelo próprio aprendiz em comunhão com o professor formador. (FREIRE, 1996, p. 38-9)

A reflexão sobre a prática não se constitui de um pensar sobre os erros e os acertos, mas na consciência do professor de que seu trabalho em sala de aula deve sempre promover a visão crítica do aluno. Isso implica em constantemente imergir o discurso na prática.

Quanto melhor faço esta operação tanto mais inteligência ganha da prática em análise e maior comunicabilidade exerce em torno da superação da ingenuidade pela rigorosidade. Por outro lado, quanto mais me assumo como estou sendo e percebo a ou as razões de ser de porque estou sendo assim, mais me torno capaz de mudar, de promover-me, no caso, do estado de curiosidade ingênua para o de curiosidade epistemológica. (FREIRE, 1996, p. 39)

O ato de refletir sobre a própria prática aparece como uma necessidade latente na formação de professores. Como um campo de pesquisa, a reflexão sobre a própria prática tem suas bases na ação reflexiva descrita por Dewey (1933), repaginada mais explicitamente na concepção de profissional reflexivo por Schön (1992; 2000).

A ideia de um professor que reflita sobre a própria prática não é novidade na pesquisa educacional. Como aponta Perrenoud (2002, p. 14),

Mais de 20 anos depois de seus primeiros trabalhos [de Schön] em parceria com Aygyris [...], a ideia deixou de ser nova e tem inspirado inúmeros estudos e procedimentos de formação tanto nos países anglo-saxões [...] quanto em outros lugares.

Perrenoud (2002), aliás, traz mais diretamente à formação de professores a ideia de profissional reflexivo presente em Schön (1992, 2000). Segundo ele, a prática reflexiva pode contribuir para o enfrentamento dos novos desafios, obstáculos e pressupostos do Ensino atual, uma vez que:

- Compensa a superficialidade da formação profissional;
- Favorece a acumulação de saberes de experiência;
- Propicia uma evolução rumo à profissionalização;
- Prepara para assumir uma responsabilidade política e ética;
- Permite enfrentar a crescente complexidade das tarefas;
- Ajuda a vivenciar um ofício impossível;
- Oferece os meios necessários para trabalhar sobre si mesmo;
- Estimula a enfrentar a irredutível alteridade do aprendiz;
- Aumenta a cooperação entre colegas;
- Aumenta as capacidades de inovação.

(PERRENOUD, 2002, p. 48)

O professor reflexivo é, portanto, aquele que julga sua própria prática, seus atos em sala de aula, suas posturas ideológicas e seus conflitos como profissional. Ao desenvolver essa habilidade, o professor tem mais consciência de si mesmo, de seu inacabamento e da própria Educação em si.

A ideia de prática reflexiva não se refere meramente ao "pensar no fogo da ação", mas a uma postura crítica sobre si mesmo e a docência. Refletir não é uma atividade impulsiva; necessariamente envolve tempo e discernimento.

Uma prática reflexiva não é apenas uma competência a serviço dos interesses do professor, é uma expressão de *consciência profissional*. Os professores que só refletem por necessidade e que abandonam o processo de questionamento quando se sentem seguros não são profissionais reflexivos. (PERRENOUD, 2002, p. 50)

A reflexão sobre a prática traz outro sentido à docência, menos de transmissor de conhecimentos, mais para formador de cidadãos. O professor reflexivo é hábil em construir, a partir de erros e acertos, uma melhor estratégia pedagógica para ensinar, à medida que pensa sobre sua conduta e as metodologias nas quais se baseia.

Perrenoud (2002) argumenta que o exercício constante de refletir sobre a prática docente por parte do professor é importante no sentido de trazê-lo ao ambiente da sala de aula e complementa:

Em caso contrário, o professor em formação pode se apropriar dos saberes didáticos e pedagógicos necessários para ser aprovado nos exames; porém, será incapaz de mobilizá-los em uma sala de aula e, portanto, de enriquecê-los por meio de experiência. Essa forma branda de esquizofrenia não é imaginária: alguns professores construíram certos saberes durante seus estudos e outros o fizeram pela prática, mas essas duas esferas não se comunicam, já que a articulação entre os saberes acadêmicos e aqueles provenientes da experiência cotidiana nunca foi valorizada nem *exercitada*. (PERRENOUD, 2002, p. 53)

O estudo da História da Ciência por meio do *contexto pedagógico* busca, dessa forma, ser um momento em que o licenciando desenvolva o exercício de refletir sobre a própria prática, a fim de construir saberes que mobilizem a formação crítico-transformadora para a sala de aula. Ao refletir e trabalhar sobre como levar os conteúdos históricos para sua prática, o futuro professor é chamado a articular os conhecimentos físicos e pedagógicos em uma concepção integradora, traduzindo para o contexto da sala sua postura crítico-transformadora.

3.3. Uma visão geral da AMHIC

A Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC) é uma abordagem para favorecer a formação crítico-transformadora de professores de Física. Para isso, ela se pauta no estudo da História da Ciência e explora três contextos para os episódios históricos: *científico*, *metacientífico* e *pedagógico*.

A AMHIC não se configura como uma metodologia de ensino a ser seguida estritamente, mas como uma forma diferenciada de abordar a História da Ciência, levando em consideração o propósito de uma formação crítico-transformadora. A AMHIC não é um conjunto de regras a serem seguidas, mas uma proposta para promover uma visão crítico-transformadora nos futuros professores de Física que foi construída com base na reflexão sobre o papel do professor, a Física como elemento cultural e o cidadão como interventor na realidade em que vive. Nesse sentido, a AMHIC busca oferecer subsídios para a construção de uma formação diferenciada de professores de Física, que considere a compreensão do viés histórico do conhecimento científico como peça chave para uma ação crítico-transformadora.

As definições de episódios históricos, o viés problematizador e os contextos da AMHIC vêm no sentido de orientar novas abordagens da historicidade da História da Ciência ao longo da formação dos professores, não para obrigá-los a segui-las, mas para ressaltar que em uma abordagem contextualizada visando a formação crítico-transformadora, a consideração destes elementos é importante, pelas razões acima discutidas.

Por ter este caráter aberto e adaptável, a AMHIC não se restringe a disciplinas de História da Ciência nos cursos de formação, embora também seja perfeitamente adequada a elas. A estrutura da AMHIC oferece subsídios teóricos para trabalhar a questões históricas do conhecimento científico ao longo de disciplinas específicas de Física, não somente dos cursos de licenciatura, mas também os de bacharelado. O docente formador, com a AMHIC em mãos, pode direcionar seu trabalho no sentido

de promover uma formação crítica-transformadora de seus licenciandos ao longo de todo o curso.

Ao envolver o estudo dos conceitos científicos de um episódio histórico tanto por uma vertente prática quanto teórica, o *contexto científico* permite ao licenciando compreender os modelos e teorizações levados em conta no desenvolvimento de uma ideia científica. Este entendimento mais amplo pode minimizar a visão pragmática e dogmática da Ciência tão presente no senso comum. Com isso, o licenciando entende, entre outras coisas, que uma ideia científica não é uma verdade absoluta e irrevogável, mas historicamente construída e passível de transformação, o que é um componente importante quando pensamos em uma formação crítica.

Ao apresentar os detalhes do processo de construção do conhecimento científico, o *contexto metacientífico* fornece ao futuro professor subsídios para entender as influências exercidas pela Ciência e sofridas por ela, a função da imaginação no trabalho dos cientistas, o papel de questões ideológicas, políticas e religiosas dos cientistas no desenvolvimento, aceitação e divulgação de suas teorias, as particularidades históricas do contexto em que uma ideia científica foi desenvolvida e como isso influenciou positiva ou negativamente em sua aceitação, entre outros. Por meio disso, o licenciando pode construir uma definição mais abrangente sobre o que é Ciência e o que ela representa, levando nisso suas opiniões, posições e críticas.

Ao oferecer um momento específico para construir um conjunto de saberes didático-pedagógicos para trabalhar com a História da Ciência no Ensino, o *contexto pedagógico* traz ao licenciando elementos para pensar sobre suas atitudes e posturas enquanto docente. Nesta ocasião, o futuro professor pode colocar sob um ponto de vista mais crítico a maneira como leciona (ou lecionará), permitindo mudar, corrigir ou aprimorá-la.

A seguir, no Quadro 2 descrevo os detalhes da AMHIC.

Quadro 2 – Detalhes da AMHIC.

Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC)	
Público-alvo principal	Professores de Física em formação
Contextos	Científico, metacientífico e pedagógico
Objetivo	Formação crítico-transformadora

CAPÍTULO 4 – UM ESTUDO DE CASO: A ABORDAGEM MULTICONTEXTUAL DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA NA LICENCIATURA EM FÍSICA

Por ser um conhecimento em construção, foi fundamental que a Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC) passasse por uma aplicação piloto, a fim de estabelecer pontos a serem aprimorados na proposta. Para isso, a AMHIC foi trabalhada no curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), sediada em Uberaba-MG, ao longo das disciplinas "Estudos e Desenvolvimento de Projetos IV" e "V". Este e o próximo capítulo abordam este estudo de caso particular.

A Licenciatura em Física é um curso relativamente jovem na UFTM, criado em 2008 e implementado no primeiro semestre de 2009 por meio do REUNI. O curso conta atualmente com sete professores efetivos e cinco professores temporários da área específica de Física, sendo três deles pesquisadores em Ensino de Física. Atualmente, o curso passa pelo processo de reconhecimento do Ministério da Educação.

A Licenciatura em Física da UFTM busca oferecer um currículo diferenciado²⁴, que inclua além da formação específica e pedagógica comum nas licenciaturas, também uma formação humanística. Em razão disso, participaram da criação do curso pesquisadores em áreas básicas das ciências humanas, tais como Filosofia e Sociologia. As disciplinas que compõem a formação humanística fazem parte do chamado Ciclo Comum de Formação e estão presentes nos dois primeiros períodos do curso.

²⁴ A matriz curricular atual do curso pode ser conferida na íntegra Anexo 2. Esta matriz foi implementada no segundo semestre de 2011.

Outro diferencial na proposta curricular do curso é a presença de um número maior de disciplinas da área de Ensino de Física, em relação a outras licenciaturas tradicionais. Oferecidas a partir do quinto período do curso, estas disciplinas têm o objetivo de aproximar o licenciando da realidade escolar e da complexidade do processo de ensino e aprendizagem específico da Física, relacionando a área com questões centrais de teorias educacionais.

Como um dos principais elementos inovadores de seu projeto pedagógico, o curso de Licenciatura em Física da UFTM apresenta o conjunto de seis disciplinas "Estudos e Desenvolvimento de Projetos". Presentes na grade curricular do primeiro ao sexto períodos, os EDPs, como são chamados, têm como princípios básicos o trabalho em equipe e a iniciação à pesquisa de um assunto específico escolhido pelo grupo, sob orientação do professor. A intenção é que o licenciando possa se familiarizar com o trabalho científico, a pesquisa e a interação com seus pares desde o início de sua formação.

No curso de Licenciatura em Física, preferiu-se a definição de temas para cada EDP. Em EDP I e EDP II, os temas são ligados à Educação de uma forma geral e sua especificidade é definida pelo professor no início do semestre. Pelo fato dessas disciplinas serem cursadas por alunos ingressantes, optou-se por deixar em aberto o tema a ser trabalhado, facilitando o contato inicial do aluno com a pesquisa, levando em consideração seus conhecimentos e suas experiências prévias. As duas disciplinas estão diretamente relacionadas, sendo EDP II continuação de EDP I, possibilitando ao aluno a vivência de todas as etapas do trabalho de pesquisa.

Por sua vez, EDP III propõe o desenvolvimento de atividades e aparatos experimentais. Os alunos são familiarizados com as pesquisas na área de experimentação no Ensino e orientados pelo professor a elaborar uma atividade experimental e aplicá-la em uma escola pública da região. EDP IV e V têm como tema a História da Ciência e serão discutidos com mais detalhes a seguir. Por fim, EDP VI envolve a elaboração de atividades de ensino utilizando simulações computacionais, no intuito de aprimorar a habilidade dos alunos em construir

propostas de ensino fundamentadas em conhecimentos de Física Computacional, trabalhados em disciplina homônima no semestre anterior.

As disciplinas "Estudos e Desenvolvimento de Projetos" são constituídas por duas horas-aula presenciais e quatro horas-aulas de práticas curriculares, cumpridas fora do horário letivo e destinadas ao desenvolvimento de atividades ligadas ao ensino. EDP I e EPD II, por sua vez, possuem mais duas horas-aula à distância, cumpridas com o apoio da plataforma Moodle. Estas cargas horárias são semanais, portanto, considerando quinze semanas de aulas, totaliza-se cento e vinte horas-aula para EDP I e II e noventa horas-aula para os demais EDPs.

As disciplinas EDP IV e V têm como foco a introdução da História da Ciência. A construção e organização das disciplinas tiveram a contribuição deste pesquisador e, por isso, levam em conta em suas ementas a concepção de uma abordagem contextualizada da História da Ciência. As duas disciplinas foram pensadas como etapas complementares uma da outra e foram estruturadas especialmente para abrigar a aplicação da AMHIC.

4.1. As disciplinas "Estudos e Desenvolvimento de Projetos IV" e "V"

A aplicação da Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC) em "Estudos e Desenvolvimento de Projetos IV" e "V" envolveu a estruturação dessas disciplinas de acordo com os propósitos da abordagem, levando em consideração a obrigatoriedade de um sistema avaliativo do desempenho dos licenciandos e os trâmites formais de qualquer disciplina de um curso de graduação.

As ementas das disciplinas²⁵ possibilitaram um trabalho aberto e dinâmico, mas restringem o campo de estudo dos "projetos". Em EDP IV, os temas de pesquisa

²⁵ As ementas estão disponíveis no Anexo 3.

devem estar ligados aos assuntos discutidos nas disciplinas Física I (Mecânica) e Física II (Termodinâmica e Ondas) do curso, oferecidas, respectivamente, no terceiro e quarto períodos. Em EDP V, os temas devem se concentrar nos assuntos abordados em Física III (Eletromagnetismo) e Física IV (Óptica e Física Moderna), oferecidas, respectivamente, no quinto e sexto períodos do curso. As duas disciplinas são oferecidas em períodos subsequentes, a saber, EDP IV no quarto período e EDP V no quinto. Não há pré-requisito entre uma e outra, mas uma regra da universidade obriga os estudantes a cursarem todas as disciplinas de um período antes de serem matriculados em disciplinas do semestre posterior, o que permitiu que apenas licenciandos que haviam cursado EDP IV fossem matriculados em EDP V.

Pela pouca disponibilidade de materiais historiográficos – fontes primárias e secundárias – em português e pela falta de experiência dos licenciandos com áreas ainda não estudadas por eles no curso – tal como Física Moderna, que seria estudada no sexto período do curso, portanto, no semestre seguinte a EDP V –, optamos por delimitar os temas em História da Mecânica e da Astronomia para EDP IV e História da Óptica e do Eletromagnetismo em EDP V. Partindo dessas questões, as disciplinas EDP IV e V foram pensadas como dois momentos distintos, mas complementares.

EDP IV funcionou como o primeiro contato formal dos licenciandos com História da Ciência²⁶, familiarizando-os com a área e com os estudos históricos e, assim, tornando-se uma etapa preliminar para a aplicação da AMHIC. Nesta disciplina, propôs-se aos licenciandos que o projeto a ser desenvolvido fosse um estudo histórico de um episódio da História da Mecânica ou da Astronomia. Este estudo histórico deveria levar em conta as metodologias contemporâneas da historiografia e se basear em boas fontes primárias e secundárias.

²⁶ Após EDP IV e V, os alunos voltam a estudar História da Ciência no 8º período do curso, na disciplina "Evolução dos Conceitos da Física".

EDP IV foi dividida em duas partes. Na primeira delas, foram discutidas com os licenciandos as questões atuais da historiografia da Ciência e as metodologias de pesquisa histórica, que incluíram a análise de fontes primárias, secundárias, pesquisas em bancos de dados etc. Ainda neste bloco, os licenciandos estudaram e analisaram as principais distorções históricas (historiografia Whig, pseudohistória, quasi-história etc) e foram introduzidos aos tópicos envolvendo a utilização da História da Ciência no ensino.

Na segunda parte da disciplina, os licenciandos receberam orientações em relação ao desenvolvimento do estudo histórico. O docente atuou como mediador do estudo, facilitando o acesso dos licenciandos aos materiais históricos e orientando sobre quais assuntos devem ser enfatizados e quais devem ser estudados de forma secundária, em um processo de afunilamento do tema de pesquisa.

Como produto final, e submetido à avaliação do docente, aos licenciandos foi exigida a elaboração de um artigo ou relatório descrevendo o resultado do estudo histórico. O artigo ou relatório foi apresentado na terceira e última parte da disciplina, contando também como uma avaliação.

EDP IV possibilitou que os licenciandos tivessem uma vivência básica na área de pesquisa em História da Ciência, conhecessem e lidassem com as dificuldades, métodos e pressupostos da pesquisa histórica e compreendessem as relações deste conhecimento com o Ensino de Física. Esta formação preliminar possibilitou que os licenciandos trabalhassem com mais facilidade com os episódios históricos, permitindo que a aplicação da AMHIC no momento seguinte não encontrasse obstáculos nesse sentido.

Oferecida no período posterior, a disciplina "Estudos e Desenvolvimento de Projetos V" foi pensada como um segundo momento do estudo, em que a AMHIC fosse efetivamente trabalhada em seus vários aspectos com os licenciandos. Assim como em EDP IV, para EDP V também deveria ser levado em conta a restrição de temas colocada pela ementa da disciplina e a necessidade de incluir atividades avaliativas.

A partir desses pontos, foi proposto aos licenciandos que o "projeto" a ser desenvolvido na disciplina fosse a elaboração de dois materiais didáticos para ensinar conceitos de Óptica e Eletromagnetismo, utilizando como recurso pedagógico a História da Ciência. Sendo assim, o foco em EDP V foi o pensar sobre a sala de aula, tendo como plano de fundo o caráter histórico do conhecimento científico.

Em EDP V, os licenciandos estudaram episódios da História do Eletromagnetismo e Óptica a partir de fontes históricas – primárias e secundárias – previamente selecionadas. Partindo do pressuposto que os licenciandos possuíam vivência inicial com a pesquisa em História da Ciência desenvolvida em EDP IV, não foi mais exigido que eles realizassem estudos históricos; estes foram apresentados, discutidos e analisados junto com eles. Como o foco da disciplina foi a sala de aula, a maior parte do tempo disponível para o desenvolvimento da disciplina foi destinado a esta questão.

A discussão dos episódios históricos foi acompanhada do desenvolvimento de conhecimentos para inserção da História da Ciência no Ensino. Estes conhecimentos se referiram às estratégias e abordagens para trabalhar a historicidade da Ciência a partir dos conteúdos históricos trabalhados na disciplina, no sentido de torná-los ferramentas pedagógicas para o Ensino de Física.

Após o estudo dos episódios, os licenciandos foram orientados sobre a construção do material didático, quais elementos deveriam ser incluídos, quais evitados etc. A forma dos materiais foi livre; os licenciandos puderam desenvolver qualquer tipo de material (apostila, vídeo, apresentação etc.), desde que tivesse um fim didático, em outras palavras, que fosse passível de utilização em sala de aula. Ao final do semestre, os licenciandos apresentaram o material didático à turma e sua utilização em sala de aula foi debatida entre alunos e professor.

Os materiais didáticos e sua apresentação foram tomados como um conjunto de atividades avaliativas. Além disso, foram aplicados dois trabalhos em grupos

abordando questões dos episódios históricos de Óptica e Eletromagnetismo discutidos ao longo da disciplina.

A aplicação da AMHIC em EDP V envolveu duas fases fundamentais: a escolha dos episódios históricos e a estruturação da disciplina, a fim de que estes episódios pudessem ser trabalhados a partir dos contextos da AMHIC. Nas próximas duas seções, farei uma análise detalhada destas duas etapas.

4.2. Os episódios históricos selecionados

Para a seleção dos episódios históricos que foram explorados em EDP V foi preciso levar em conta requisitos específicos da AMHIC:

- Possuir elementos para uma abordagem problematizadora, que desenvolva a construção de um diálogo crítico com o mundo e permita a compreensão de aspectos estruturantes do processo de construção do conhecimento científico;
- Envolver conceitos científicos passíveis de discussão por uma perspectiva teórica e/ou prática, portanto, abrangendo o *contexto científico*;
- Explicitar aspectos da Epistemologia, Filosofia ou Sociologia da Ciência, portanto, abrangendo o *contexto metacientífico*;
- Possibilitar a construção de atividades/estratégias para o ensino de Física e/ou Ciências no ensino médio utilizando os conteúdos históricos trabalhados no episódio, portanto, abrangendo o *contexto pedagógico*.

Considerando estes requisitos, foram escolhidos quatro episódios da História da Óptica e do Eletromagnetismo:

- **Episódio 1:** As teorias sobre a luz de Huygens, Newton, Young e Fresnel;
- **Episódio 2:** Os experimentos com prismas e a heterogeneidade da luz branca;

- **Episódio 3:** Galvani, Volta e a invenção da pilha;
- **Episódio 4:** Oersted e a descoberta do eletromagnetismo.

Nas subseções abaixo, apresento uma breve análise de cada episódio.

Episódio 1: As teorias sobre a luz de Huygens, Newton, Young e Fresnel

O período compreendido entre o final do século XVII e o início do século XIX foi muito produtivo para os estudos em Óptica. Com a invenção do telescópio e do microscópio em seu início e com a descoberta de fenômenos como a difração e a dupla refração, os estudos na área tiveram um crescimento significativo em relação aos séculos anteriores. Neste período, destacam-se o trabalho de quatro pesquisadores: Christiaan Huygens (1629-1695), Isaac Newton (1643-1727), Thomas Young (1773-1829) e Augustin Fresnel (1788-1827).

Por meio deste episódio, o licenciando tem a oportunidade de conhecer as ideias sobre a luz de quatro dos principais estudiosos sobre Óptica entre os séculos XVII e XIX, cujas contribuições foram capitais para o desenvolvimento dessa área de estudo. É comum, por exemplo, que muitos licenciandos conheçam os trabalhos de Newton sobre Mecânica, mas desconheçam suas ideias sobre a luz – e quando a conhecem, geralmente se referem somente aos experimentos com prismas. De modo semelhante, sobre Young, muitos estudantes conhecem seu trabalho apenas pelo experimento da "fenda dupla de Young", mas pouco ou nada sabem de seus escritos originais. Sob uma perspectiva oposta, são raros os estudantes que conhecem algo sobre Huygens – talvez, e somente, o famoso "princípio de Huygens" – ou Fresnel.

Ademais, mesmo que conheçam ou estudem sobre Huygens, Newton, Young ou Fresnel, dificilmente os estudantes entrarão em contato com seus escritos originais. Ou seja, podemos saber que Newton assumia que a luz era um corpúsculo ou que Young acreditava em uma analogia entre a luz e o som, porém geralmente não temos a oportunidade de estudar exatamente as palavras destes pensadores. Uma

consequência muito comum e muito prejudicial disso é a menção de livros didáticos sobre a defesa da corpuscularidade da luz por Newton ou sobre uma possível disputa entre a concepção deste primeiro com a de Huygens – que assumia abertamente uma concepção ondulatória para a luz.

Em relação a Huygens, seu trabalho principal na área – o *Tratado sobre a luz* (MARTINS, 1986a) – apresenta um tratamento geométrico elucidativo e objetivo sobre fenômenos como a refração, reflexão, refração na atmosfera e dupla refração. O modo como Huygens apresenta seus argumentos revela-se de um notável didatismo, possibilitando um entendimento rápido e objetivo do comportamento da luz.

Huygens defendia que a luz era uma sucessão de ondas não periódicas propagadas pelo éter (SABRA, 1981). Segundo ele, à medida que uma onda era emitida a partir de um ponto luminoso, pela perturbação das partículas de éter ao longo do meio de propagação eram geradas novas ondas, denominadas secundárias. A união de diversas ondas secundárias formaria uma "frente de onda". Esse processo se repetia infinitamente, fazendo com que as ondas luminosas não perdessem intensidade. Isto, para Huygens, explicaria por que a luz do Sol conseguia atingir a Terra mesmo com a enorme distância entre os dois. A formação de uma frente de onda a partir de ondas secundárias é o modelo conhecido – e ainda utilizado – como "princípio de Huygens" (Figura 1).

Figura 1 – Huygens e seu modelo explicativo para a propagação da luz. A onda luminosa gerada a partir da fonte A provocava uma infinidade de ondas secundárias, que se uniam em uma frente de onda. Este é o denominado "princípio de Huygens".

A partir desse modelo, Huygens explicou no *Tratado sobre a luz* os fenômenos da reflexão e refração da luz. Utilizando relações geométricas e semelhança de triângulos, Huygens foi capaz de demonstrar matematicamente pontos cruciais da compreensão desses dois fenômenos, tais como a igualdade dos ângulos de incidência e reflexão na reflexão em superfícies planas e a relação de Snell-Descartes para os senos dos ângulos de incidência e refração quando da incidência de um raio de luz sobre uma superfície refratora (Figura 2).

Figura 2 – Figura do *Tratado sobre a luz* de Huygens ilustrando o comportamento da luz na reflexão. Se não houvesse a superfície refletora AB, a frente de onda AC em um intervalo de tempo T seria representada pela frente de onda GB. Entretanto, pela reflexão, a frente de onda neste intervalo T é NB. Por semelhança entre os triângulos CAB e NAB, Huygens demonstra a igualdade entre os ângulos de incidência e reflexão.

Um detalhe importante sobre a concepção de Huygens, que raramente é mencionado, é a inadequação ao apontá-la como uma concepção ondulatória para a luz. Pelo fato de Huygens não considerar os pulsos de luz como periódicos e não incorporar conceitos fundamentais da ondulatória como frequência e comprimento de onda, os historiadores afirmam que é mais adequado denominá-la como uma concepção *vibracional*²⁷. A concepção ondulatória propriamente dita só viria a surgir cinco décadas depois, com os trabalhos de Leonhard Euler (1707-1783) e sua "Nova theoria lucis et colorum", publicada em 1746 (HAKFOORT, 1995, p. 3; 73-76).

Sobre Newton, podemos abordar uma infinidade de temas relacionados à Óptica, entretanto, sempre há destaque para sua principal obra na área, o *Óptica* (NEWTON, 1996). Publicado originalmente em 1704, o *Óptica* foi dividido em três livros, que abordam os principais fenômenos ópticos estudados na época.

O Livro I tratou principalmente da composição da luz branca – utilizando os experimentos com prismas – e do estudo das cores dos objetos. Dividido em duas partes, Newton abordou inicialmente tópicos gerais da Óptica, por exemplo, refração, reflexão, formação de imagens por lentes esféricas etc. Posteriormente, descreveu sobre as cores e dos diferentes graus de refração dos raios de luz e sobre a composição da luz solar. Na segunda parte, discutiu a imutabilidade da luz e das cores dos objetos e apresentou aplicações de sua teoria, por exemplo, para explicar a aberração cromática em lentes de lunetas (SILVA, 1996).

O Livro II contém estudos sobre a formação dos anéis de cores em películas finas e uma análise mais detalhada das cores dos corpos. Neste livro, Newton apresentou seu modelo de "estados de fácil transmissão" e "estados de fácil reflexão", utilizado para explicar os anéis de cores e as reflexões e refrações parciais dos raios de luz em superfícies como o vidro (MOURA e SILVA, 2008).

²⁷ Nesta concepção se encaixam também as concepções de Rene Descartes (1596-1650) e Robert Hooke (1635-1703), entre outros.

O Livro III tratou dos fenômenos relacionados à "inflexão da luz" (difração em linguagem atual), seguido das famosas *Questões*, em que Newton apresentou várias ideias importantes que permearam sua obra, sem se comprometer explicitamente com nenhuma delas. Entre essas ideias, destacaram-se a defesa por uma concepção corpuscular para a luz e a crítica incisiva a modelos ondulatórios, tais como o de Descartes e Huygens (HALL, 1993).

Por meio de uma argumentação simples e objetiva, Newton foi hábil em delinear seu raciocínio quase inteiramente baseado na experimentação. Com uma linguagem acessível, o *Óptica* trouxe implicitamente a concepção corpuscular para a luz de Newton. Nuances conceituais como essas tornam o *Óptica* uma obra essencial para compreender o contexto do final do século XVII.

Figura 3 – Capa da primeira edição do *Óptica*, publicada em 1704.

A publicação do *Óptica* no início do século XVIII casou com o início de um período de grandes mudanças na Grã-Bretanha, que culminaram, entre outras coisas, com a ampla valorização do legado newtoniano e de suas obras (MOURA, 2008). Sobre os

estudos da luz e das cores, o *Óptica* tornou-se a referência principal. No intuito de tornar os conceitos ali descritos relacionados à mecânica newtoniana dos *Principia*²⁸, os seguidores de Newton elaboraram diversos modelos mecânicos para a luz. Este contexto de grande idealização da obra de Newton começou a se alterar somente no início do século XIX, quando as consequências dessa postura abalaram as estruturas conceituais da concepção corpuscular para a luz e concepções diferentes tomaram à frente dos estudos, entre elas, a concepção ondulatória de Young e Fresnel (MOURA, 2008, p. 176).

Figura 4 – Ilustração do experimento da fenda dupla, extraída do livro "A course of lectures on natural philosophy and mechanical arts" de Thomas Young, publicado em 1807.

Os trabalhos de Young e Fresnel, desenvolvidos separadamente e com uma diferença de cerca de uma década, trouxeram um novo ar à concepção ondulatória. Young, em particular, desenvolveu suas principais ideias no ensaio "Sobre a teoria de luz e cores", publicado nas *Philosophical Transactions* da Royal Society de Londres em 1802. Neste texto, Young explora a analogia entre luz e som, apresentando como hipótese central de sua concepção a ideia da luz como ondulações em um éter luminífero. Para subsidiar partes de sua argumentação, Young curiosamente se sustenta em trechos do *Óptica* de Newton (SILVA, 2009).

²⁸ O *Principia* ou *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* foi a principal obra de Newton sobre Mecânica e Astronomia, sendo publicada pela primeira vez em 1687. A tradução em português pode ser conferida em Newton (1990, 2008).

Fresnel, no contexto dos estudos em Óptica da França do início do século XIX, dominados pela influência da concepção corpuscular de Newton, destaca-se pela abordagem matemática dos fenômenos da luz. Por meio da concepção da luz como onda transversal – e não mais longitudinal, como se adotava até então –, Fresnel foi capaz de elaborar modelos explicativos para fenômenos que a proposta corpuscular não explicava satisfatoriamente, tais como a polarização, a difração e a interferência (FRANKEL, 1976).

Com os trabalhos de Young e Fresnel no início do século XIX, a concepção ondulatória agora não mais era apenas uma descrição da luz como uma sucessão de pulsos, mas um arcabouço de conceitos definidos e capazes de ser aplicados em diversas situações.

Episódio 2: Os experimentos com prismas e a heterogeneidade da luz branca

Dentro das ideias newtonianas sobre a luz, o episódio envolvendo os experimentos com prismas desempenhou um papel importante. Como um bom exemplo da defesa de Newton pelo indutivismo na pesquisa sobre o mundo natural, este episódio ilustra como ele foi capaz de construir e trabalhar sobre experimentos que, em sua visão, estabeleciam que a luz branca do Sol fosse uma mistura heterogênea de raios coloridos, e não simples e homogênea como se pensava na época. Imbuído de forma implícita em seu raciocínio, estava a defesa da concepção corpuscular para a luz.

Com este episódio, os licenciandos são apresentados a mais detalhes do pensamento newtoniano sobre a luz e as cores e sobre os experimentos com prismas desenvolvidos por Newton. Nesse sentido, podem ficar mais claras aos estudantes as dificuldades envolvidas nestes experimentos, combatendo a ideia geralmente divulgada em textos didáticos de que os experimentos com prismas elaborados por Newton são facilmente reproduzidos e suas conclusões são simples (SILVA e MARTINS, 2003).

Este episódio se baseia em dois momentos distintos. O primeiro deles compreende a publicação e recepção do artigo "Nova teoria de luz e cores" (SILVA e MARTINS, 1996), primeiro trabalho de Newton a ser publicado, em 1672, e que gerou uma série de críticas tanto aos aspectos teóricos quanto experimentais de suas ideias. Neste artigo, Newton apresentou de forma sistemática um estudo sobre a composição da luz branca, quando da passagem por um prisma de vidro. Após uma série de considerações, Newton afirmou que a luz branca do Sol seria uma mistura heterogênea de raios coloridos e lançou mão de um experimento que considerou fundamental, o *experimentum crucis*.

Figura 5 – Desenho (não publicado em 1672) ilustrando o *experimentum crucis*. Detalhe para o segundo prisma, posicionado após um anteparo com orifícios seletores.

Basicamente, o *experimentum crucis* consistiu em colocar mais um prisma entre o feixe de luz emergente do primeiro prisma e o anteparo. Por meio de um orifício, Newton selecionou o raio de luz colorido que saía do primeiro prisma e o fazia atingir o segundo, verificando, por fim, que este último não causava nenhuma modificação no raio de luz colorido. Para Newton, isto provou que a luz branca não seria modificada pelo prisma, ou seja, não seria simples e homogênea como se acreditava usualmente na época.

O *experimentum crucis* e a "Nova teoria" como um todo receberam duras críticas na época, tanto em relação a questões conceituais quanto experimentais, advindas principalmente de pensadores coetâneos como Huygens, Robert Hooke (1635-1703) e Ignatius Pardies (1636-1673). Estes críticos argumentaram, entre outras coisas, que o *experimentum crucis* não era uma prova cabal da heterogeneidade da luz branca, mas que demonstrava apenas a relação entre cor e refrangibilidade e que as ideias da "Nova teoria" estariam mais no campo das hipóteses que das certezas (SILVA & MARTINS, 1996; 2003).

Grande parte das críticas ao texto de Newton se deve à sua falta de clareza sobre detalhes experimentais, que levaram seus coetâneos a reproduzirem o experimento de maneiras diferentes. Este detalhe experimental refere-se à posição do prisma: Newton havia ajustado seu prisma na posição de "mínimo desvio". Quando o prisma está ajustado nesta posição, pequenas rotações ao redor do seu eixo não produzem mudanças significativas na direção dos raios emergentes. Pelo fato de Newton ter feito um furo circular para passar a luz do Sol em seu quarto escurecido, ele esperava que a imagem formada após a passagem da luz pelo prisma também fosse circular, justamente pelo fato do prisma estar na posição de "mínimo desvio", ou seja, deformando minimamente a forma da imagem. Entretanto, Newton observou uma imagem oblonga, com seu comprimento cinco vezes maior que sua largura. Esta discrepância é a base de toda sua argumentação em relação aos experimentos descritos na "Nova teoria" (SILVA e MARTINS, 1996, p. 315, nota 9).

O segundo momento compreende a elaboração e publicação do *Óptica*, mais especificamente o Livro I, em que Newton fez uma análise mais detalhada e extensa de experimentos com prismas e apresentou também um estudo sobre as cores dos objetos e outros assuntos correlatos. Baseado no texto "*Fundamentum Opticæ*"²⁹, escrito entre 1687 e 1688. Esse texto se apoiou na teoria de luz e cores desenvolvida por ele nas *Optical lectures* e correspondências sobre óptica trocadas

²⁹ Do latim: "Fundamentos de Óptica".

com outros filósofos naturais no início da década de 1670 (SHAPIRO, 1992, p. 197-98). Em comparação ao "Nova teoria", o Livro do *Óptica* apresentou uma diferença importante: a ênfase dada ao *experimentum crucis*. No *Óptica*, o *experimentum crucis* foi colocado em papel coadjuvante e toda sua argumentação sobre a heterogeneidade da luz branca se fundamentou em diversos outros experimentos (Figura 6).

Figura 6 – Ilustrações do Livro I do *Óptica*, em que o *experimentum crucis* da "Nova teoria" cede lugar a vários outros experimentos.

Episódio 3: Galvani, Volta e a invenção da pilha

O período anterior aos experimentos de Hans Christian Oersted (1777-1851) que levaram ao estabelecimento do Eletromagnetismo no início do século XIX é rico em episódios históricos. Por exemplo, poderia citar os estudos de Charles François de Cisternay Du Fay (1698-1739) sobre sua proposta de dois tipos de eletricidade – vítrea e resinosa – em meados da década de 1730 ou os estudos de Benjamin Franklin (1706-1790) sobre a natureza elétrica dos raios. Entretanto, pelo fato do episódio seguinte (a descoberta de Oersted) abordar a consolidação do Eletromagnetismo, acreditei que seria necessário trabalhar sobre um episódio que desempenhou um importante papel nisso: os estudos de Luigi Galvani (1737-1798) e Alessandro Volta (1745-1827).

Os estudos de Galvani e Volta sobre a eletricidade animal foram importantes no contexto da descoberta do Eletromagnetismo porque foram os responsáveis por criar uma nova área na Eletricidade: o Galvanismo. Atualmente, não há diferenciação entre a eletricidade produzida por uma pilha ou por atrito em um globo de vidro. Entretanto, esta não diferenciação não é intuitiva, afinal, por que temos que aceitar que a eletricidade de duas origens tão distintas deve ser a mesma? (MARTINS, 1999, p. 823)

Por volta de 1791, Galvani estudou a contração de pernas de rãs mortas quando próximas a descargas produzidas por Garrafas de Leyden ou quando tocadas por metais (Figura 7). Segundo ele, isso acontecia porque as rãs possuíam uma espécie de "fluido nervoso", semelhante ao fluido elétrico (HEILBRON, 1999). A eletricidade apenas ativaria este "fluido".

Em contato com os estudos de Galvani, Volta – que inicialmente havia duvidado da ocorrência do fenômeno – afirmou que o metal deveria desempenhar um papel ativo no fenômeno, ou seja, que a rã fosse um delicado sensor da eletricidade que passaria de um metal a outro ou que fluía de uma descarga elétrica das Garrafas de Leyden (MARTINS, 1999, p. 826). Em suma, Volta acreditava que os fenômenos "galvânicos" não eram consequência de uma "eletricidade animal", mas da

eletricidade comum. A busca para que isto fosse demonstrado levou Volta à invenção da pilha, um dispositivo que trouxe novas possibilidades para os estudos sobre Eletricidade no início do século XVIII.

Figura 7 – Ilustração de Galvani sobre o movimento de pernas de rãs mortas quando em contato com metais.

Episódio 4: Oersted e a construção do eletromagnetismo

A História do Eletromagnetismo não pode ser comentada sem ao menos uma menção ao episódio que desencadeou esta área de pesquisa: os estudos de Oersted. Em 1820, durante uma aula, Oersted notou que uma agulha magnética girava quando próxima de um fio conectado a uma pilha. Geralmente atribuída ao acaso, esta construção levou à união dos estudos sobre Eletricidade e Magnetismo no início do século XIX, abrindo as portas para novos estudos e conceitos.

A descrição acima, que pode ser encontrada em vários materiais didáticos, esconde diversos aspectos deste episódio relevantes para o ensino de História da Ciência e estes nos levam aos motivos de sua escolha. Em primeiro lugar, é um reducionismo dizer que os estudos de Oersted simplesmente uniram fenômenos elétricos e magnéticos, já que na época havia pelo menos mais uma classe de

fenômenos em voga: os galvânicos. Sendo assim, este episódio retrata como fenômenos elétricos, magnéticos e galvânicos começaram a ser tratados por meio de modelos comuns, o que na época era altamente inovador.

Segundo Martins (1986b), os estudos de Oersted estiveram longe de ser acidentais³⁰, uma vez que ele estava a par dos estudos sobre a influência de raios e descargas elétricas sobre bússolas. Além disso, Oersted tinha motivações de cunho filosófico para estabelecer uma unidade entre as duas classes de fenômenos: ele era adepto da *Naturphilosophie*, uma corrente filosófica surgida na Alemanha central e que tinha como pressupostos básicos a crença de uma unidade das forças da natureza e a ideia de que havia um ponto em comum em fenômenos do calor, eletricidade, luz e magnetismo (GOWER, 1973).

A “descoberta” teria acontecido em 1820, durante uma aula. Ao colocar um fio ligado a uma bateria paralelo à agulha de uma bússola, Oersted percebeu que esta se inclinava. Após três meses dedicados ao fenômeno, Oersted conseguiu entender suas propriedades básicas e publicou um pequeno folheto contendo suas observações e ideias. A versão mais conhecida da descoberta é atribuída a um relato de Christopher Hansteen (1784-1873) a Michael Faraday (1791-1867) trinta e sete anos após a descoberta e seis anos após a morte de Oersted. O relato de Hansteen afirma que Oersted colocou o fio paralelo à agulha por acaso, o que difere substancialmente das descrições anteriores feitas pelo próprio Oersted (MARTINS, 2003, p. 249).

³⁰ Kipnis (2005) apresenta uma versão diferente de Martins (1986b), discutindo o papel do acaso nos estudos de Oersted. Neste trabalho e na discussão do episódio, restrinjo a discussão aos estudos de Martins (1986b), por considerá-los historiograficamente mais bem embasados.

Figura 8 – Ilustração de Oersted mostrando uma agulha magnética girando quando um fio percorrido por uma corrente é colocado próximo a ela.

Na época, era comum que o fio fosse colocado em um plano perpendicular ao plano da agulha, pois se acreditava que o efeito magnético do fio seria paralelo à corrente (Figura 9).

Figura 9 – Fio perpendicular à agulha magnética, configuração comum na época de Oersted.

Provavelmente, após tentar sem sucesso essa configuração, Oersted pensou que o efeito magnético do fio irradiasse dele, em uma clara associação com a luz irradiando de uma fonte luminosa. O fio se comportaria, assim, como um monopolo magnético. Oersted possivelmente colocou o fio paralelo à agulha imaginando que um de seus polos seria atraído para o fio, ocasionando um movimento vertical da agulha (Figura 10).

Figura 10 – Configuração de Oersted, pensada, possivelmente, a partir da ideia de que o fio se comportaria como um monopolo magnético.

Além das questões experimentais, este episódio também é rico no que se refere ao desenvolvimento do modelo teórico elaborado para explicar o fenômeno. Oersted atribuiu o fato de a agulha magnética girar quando próxima de um fio percorrido por uma corrente a um tipo de "conflito elétrico" gerado por turbilhões que giravam ao redor do fio.

A ideia de Oersted é similar ao conceito de campo magnético ao redor do fio – modelo que hoje utilizamos para explicar o fenômeno –, mas com diferenças muito significativas. Independente disso, o importante é a ideia de se ter um efeito magnético *circular* em torno no fio. Atualmente, não temos dificuldade em aceitar um campo magnético ao redor da corrente e podemos eventualmente até utilizar regras facilmente memorizáveis para não nos confundirmos. No entanto, assim como no episódio anterior, aqui também temos um aspecto não intuitivo: por que temos que aceitar um efeito magnético *circular* do fio quando a intuição nos manda acreditar, primeiramente, em um efeito *paralelo* a ele? Se a corrente se move na direção do fio, esperaríamos (intuitivamente) que qualquer efeito dela também atuasse paralelamente e não em outra direção. Sendo assim, por que isto não acontece? Por uma questão de simetria³¹. Grandezas elétricas e magnéticas possuem simetrias diferentes e esta diferença é a responsável pelo fenômeno. Oersted provavelmente levou muito tempo até entender a complicada simetria do fenômeno e, então,

³¹ As questões de simetria aplicadas à Física foram sistematizadas por Pierre Curie (1859-1906) no final do século XIX. Na época de Oersted eram conhecidos alguns aspectos de simetria. O texto de Silva (2006) traz uma interessante discussão sobre este assunto.

estabelecer um efeito magnético circular ao fio. Pelo fato de ir contra muitos princípios adotados na época, entre eles o de simetria, o modelo de Oersted não foi bem recebido.

O entendimento dos aspectos experimentais envolvidos nos trabalhos de Oersted é essencial para compreender esta questão de simetria. Com frequência, os materiais didáticos – e nisso se incluem os de nível superior – mencionam os experimentos realizados por Oersted como se fossem triviais. Entretanto, o que estes materiais não comentam é que a simples realização dos experimentos não creditaria Oersted como o "descobridor do Eletromagnetismo", termo por si só inadequado. Como mencionamos anteriormente, a influência entre fenômenos elétricos e magnéticos já era conhecida antes de Oersted, ou seja, descobrir que uma agulha magnética girava quando próxima de um fio percorrido por uma corrente não era novidade na época. O que foi efetivamente inovador por parte de Oersted foi a posição do fio em relação à agulha (paralelo) e o modelo explicativo que elaborou (efeito magnético circular). Por todos estes fatores, o episódio da descoberta do Eletromagnetismo por Oersted revela-se potencialmente interessante em uma discussão sobre História do Eletromagnetismo sob o viés da Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC).

4.3. A aplicação da AMHIC em EDP V

A Abordagem Multicontextual da História da Ciência foi aplicada com os licenciandos da disciplina "Estudos e Desenvolvimento de Projetos V", no 2º semestre de 2011. Estes alunos já haviam cursado com bom aproveitamento a disciplina anterior, EDP IV, portanto, possuíam conhecimentos básicos da área de História da Ciência e da pesquisa histórica. O perfil dos licenciandos está descrito no Quadro 3.

Quadro 3 – Perfil dos licenciandos participantes da pesquisa

Alunos	Sexo	
	Masculino	Feminino
	4	1
Idade	Entre 21 e 25 anos	
Período no curso	5 ^o	

Na primeira aula da disciplina, os licenciandos se dividiram em dois grupos, um com dois outro com três integrantes. Por ocorrer em uma disciplina, a AMHIC envolveu a aplicação de avaliações obrigatórias: dois trabalhos em grupo, dois materiais didáticos e a apresentação destes. A frequência mínima de 75% nas aulas também foi exigida.

A disciplina foi dividida em quatro blocos, que se constituíram em etapas da aplicação da AMHIC com os licenciandos. No Bloco 1 foi realizada uma revisão das principais questões envolvendo História da Ciência e Ensino de Física, nos blocos 2 e 3 foram discutidos os quatro episódios históricos e o bloco 4 foi destinado à elaboração dos materiais didáticos.

Nos blocos 2 e 3, especificamente, os episódios históricos foram introduzidos a partir do viés problematizador incluído na AMHIC. A problematização dos episódios históricos envolveu os aspectos da Natureza da Ciência que o estudo de cada um deles evidenciava. Estes aspectos foram apresentados antes da discussão do

episódio como um ponto a ser trabalhado, um "problema" a ser enfrentado. Ao lidar com essas questões de Natureza da Ciência, o licenciando poderia construir em si uma compreensão mais ampla e adequada do processo de construção do conhecimento científico, promovendo sua formação crítico-transformadora.

Em todos os episódios, o problema partiu de concepções deformadas do trabalho científico discutidas por Gil Pérez e colaboradores (2001), que foram colocadas em discussão no início das aulas e confrontadas com os aspectos da Natureza da Ciência.

Os aspectos utilizados como problema inicial de cada episódio foram extraídos a partir da síntese das discussões de três referenciais sobre o assunto: Eflin e colaboradores (1999), McComas e colaboradores (1998) e Pumfrey (1991). Abaixo a listagem dos aspectos trabalhados nos quatro episódios:

- **Episódio 1:** pode haver diferentes explicações para os mesmos fenômenos, sendo todas elas coerentes;
- **Episódio 2:** as teorias científicas não são meras induções, mas hipóteses que vão imaginativa e necessariamente além das observações;
- **Episódio 3:** o desacordo é sempre possível na Ciência e a Natureza não produz evidência simples o bastante para permitir uma interpretação não ambígua;
- **Episódio 4:** no desenvolvimento das ideias científicas pode haver influências de concepções prévias dos cientistas, ou seja, não há neutralidade do pensamento científico.

A definição dos aspectos a serem trabalhados em cada episódio não significa necessariamente que outros não possam ser discutidos. A listagem acima foi assim definida no sentido de enfatizar estes aspectos que considere mais facilmente apreendidos a partir dos episódios.

O elemento de problematização inicial trabalhou, dessa forma, na esfera do *contexto metacientífico*. Este elemento foi utilizado como ponte para a discussão dos

episódios a partir dos outros dois contextos da AMHIC, o *científico* e o *pedagógico*. Isto não implica, necessariamente, que todas as propostas que utilizem a AMHIC devem fazer emergir do *contexto metacientífico* um elemento problematizador. Esta foi a opção adotada neste estudo, assumida com base nas condições específicas em que a AMHIC foi aplicada, o que pode ser diferente em outras situações.

Além dessas questões, na discussão dos blocos 2 e 3, elenco tópicos para o estudo dos episódios históricos a partir de cada um dos contextos da AMHIC. Entretanto, como discutirei a seguir, nem todos estes tópicos foram trabalhados. Isto se deveu a limitações próprias da disciplina, de tempo e de recursos disponíveis. Mesmo assim, os descrevo no sentido de dizer que todos eles foram considerados, contudo, nem todos trabalhados.

Para estudar cada um dos episódios, os licenciandos foram orientados a ler uma seleção de fontes primárias e secundárias previamente preparada pelo docente. Esta seleção foi disponibilizada a todos os licenciandos com semanas de antecedência da discussão de cada episódio.

Nas aulas, a participação dos alunos foi incentivada, mas a interação variou ao longo do semestre. Sendo assim, enquanto algumas aulas foram essencialmente expositivas, outras contaram com a participação efetiva e colaborativa dos licenciandos, especialmente as realizadas no laboratório didático.

Os detalhes de cada bloco estão descritos nas subseções seguintes.

Bloco 1 – Apresentação da proposta e revisão

O Bloco 1 foi composto por três aulas de duas horas-aula cada, entre os dias 01 e 22 de Agosto de 2011. Na primeira aula do bloco, a proposta de aplicação da AMHIC foi apresentada aos licenciandos, ressaltando que se tratava de parte da pesquisa de doutoramento do docente da disciplina. Foi solicitado a eles autorização para análise e divulgação dos dados coletados ao longo da disciplina, o que foi prontamente atendido por todos.

Em seguida, foi apresentado o cronograma de atividades da disciplina e os métodos de avaliação: dois trabalhos em grupo, dois materiais didáticos – um sobre Óptica e outro sobre Eletromagnetismo – e a apresentação destes.

Sobre os materiais didáticos, em particular, foi discutido com os licenciandos qual era o objetivo desta tarefa: elaborar materiais que ensinassem conceitos de Óptica e de Eletromagnetismo fundamentados em uma discussão histórica. Para isso, os licenciandos deveriam focar na sala de aula, como se os materiais fossem realmente ser utilizados em uma situação didática real. Foi esclarecido que a plausibilidade da utilização dos materiais também seria tomada como ponto avaliativo. Esta tarefa deveria se feita em grupo.

Após a apresentação e discussão do cronograma e das avaliações da disciplina, foi realizada uma breve revisão sobre as questões envolvendo a História da Ciência no Ensino de Física, no intuito de retomar algumas das discussões realizadas na disciplina anterior, "Estudos e Desenvolvimento de Projetos IV".

A segunda aula foi destinada à aplicação de um questionário sobre Natureza da Ciência³², com o objetivo de avaliar as concepções dos licenciandos sobre Ciência e sua construção. A obtenção destes dados foi importante para que obtivesse um perfil dos licenciandos, traçando diferentes caminhos e aprofundando determinadas questões se necessário.

Na terceira aula do bloco, foi aplicado inicialmente um segundo questionário³³. Este questionário buscou verificar a afinidade dos licenciandos com a História da Ciência e como utilizariam conteúdos históricos em sala de aula caso fossem requisitados para tal. Após a aplicação deste questionário, foram discutidos dois materiais que haviam sido disponibilizados aos licenciandos na aula anterior. O primeiro deles reúne, a partir de diversos trabalhos acadêmicos, os aspectos

³² Ver seção 5.2.1.

³³ Ver seção 5.2.2.

consensuais da Natureza da Ciência³⁴. Com este material, foi realizada uma discussão sobre estes aspectos, procurando levantar e solucionar eventuais dúvidas ou dificuldades de interpretação dos licenciandos.

Como parte complementar da discussão dos aspectos da Natureza da Ciência, foram apresentados os resultados da pesquisa descrita em El-Hani e colaboradores (2004). Nesta pesquisa, os autores discutem as concepções sobre Natureza da Ciência de alunos do curso de Ciências Biológicas, a partir da aplicação do questionário V-NOS / Form C, desenvolvido originalmente por Lederman e colaboradores (2002). A discussão deste trabalho foi considerada importante por possibilitar que os licenciandos entrassem em contato com as diversas concepções e opiniões sobre a Ciência e o processo de construção do conhecimento científico, entre as consideradas adequadas ou inadequadas.

Na segunda metade da terceira aula, foi distribuído e discutido o segundo material, contendo um resumo dos parâmetros para a transposição didática da História da Ciência para o ambiente escolar propostos por Forato (2009). Nesta parte da tese, a autora lista uma série de pressupostos que devem ser levados em conta quando se pretende introduzir conteúdos históricos em sala de aula, entre eles, o nível de aprofundamento de aspectos epistemológicos, o uso de fontes primárias e secundárias, o trato diacrônico dos conteúdos históricos de difícil compreensão etc.

A discussão dos parâmetros de Forato (2009), em conjunto com as outras partes do bloco, funcionou como uma preparação para a análise dos episódios históricos a partir do *contexto pedagógico*. Cientes dos obstáculos, desafios e pressupostos que norteiam a inclusão da História da Ciência no Ensino de Física, os licenciandos poderiam se preparar melhor para elaborar os materiais didáticos que foram exigidos

³⁴ Ver Apêndice 1.

ao final da disciplina, além de compreender mais a fundo questões importantes sobre a incorporação de conteúdos históricos em sala de aula.

Bloco 2 – Episódios da História da Óptica

No Bloco 2 foram trabalhados os dois episódios da História da Óptica. O bloco teve duração de quatro aulas de duas horas-aula, entre os dias 29 de Agosto e 03 de Outubro de 2011. A última destas quatro aulas foi destinada à aplicação de um trabalho em grupo sobre os dois episódios componentes do bloco.

Episódio 1 – As teorias sobre a luz de Huygens, Newton, Young e Fresnel

As duas primeiras aulas do bloco foram destinadas à discussão do Episódio 1. Para o estudo deste episódio foram disponibilizados aos licenciandos um conjunto de fontes secundárias e uma apostila contendo trechos de fontes primárias dos cientistas estudados. A descrição completa pode ser conferida no Quadro 4 abaixo. Os materiais indicados com "*" foram classificados como leitura obrigatória.

Quadro 4 – Materiais disponibilizados para o Episódio 1.

Fontes secundárias	<p>*SILVA, C.C. E a luz se fez... Ciência Hoje, v. 35, n. 207, 2004.</p> <p>*SILVA, F.W.O. A evolução da teoria ondulatória da luz nos livros didáticos. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 1, p. 149-159, 2007.</p> <p>SILVA, F.W.O. A teoria da luz de Newton nos textos de Young. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, 1601, 2009.</p>
Fonte primária	*Apostila com trechos dos trabalhos originais de Huygens, Newton, Young ³⁵ .

³⁵ A apostila está disponível no Apêndice 2.

Problematização inicial

Para o Episódio 1, a problematização inicial deu-se a partir da análise do seguinte aspecto da Natureza da Ciência que permeia o episódio: *pode haver diferentes explicações para os mesmos fenômenos, sendo todas elas coerentes*. Colocado na forma de questão aos licenciandos, este aspecto da Natureza da Ciência pôde suscitar um conflito com a comum ideia de que a Ciência é "individualista" e "elitista", em que o trabalho científico é obra de gênios isolados, cujas ideias são prontamente aceitas pela comunidade científica. Sendo assim, postos diante destes aspectos, os licenciandos puderam refletir sobre o caráter multifacetado da construção do conhecimento científico, em que as ideias científicas não são construídas de forma linear, num processo de "evolução", do pior para o melhor, mas são desenvolvidas dentro dos seus contextos particulares (GIL-PÉREZ, MONTORO, *et al.*, 2001, p. 132-33).

O estudo das concepções de Huygens, Newton, Young e Fresnel ilustrou como a natureza física recebeu tratamentos diversos ao longo de um século. Com modelos diferentes, estes quatro personagens da História da Ciência conseguiram explicar grande parte dos fenômenos ópticos conhecidos na época a partir de bases e pressupostos variados. Logicamente, todas as concepções continham deficiências – algumas mais, outras menos – mas todas elas foram capazes de embasar a compreensão dos fenômenos ópticos, desde os mais simples, como refração e reflexão, até o mais complexo para a época, como a difração e a polarização.

O episódio e os contextos da AMHIC

A análise do Episódio 1 sob a perspectiva dos três contextos da AMHIC pode ser realizada a partir de diversas possibilidades, que estão descritas no Quadro 5 abaixo.

Quadro 5 – Os contextos da AMHIC a partir do Episódio 1.

Contexto científico	Vertente teórica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sobre as concepções de Huygens, cabe trabalhar: o conceito de onda não periódica, o tratamento geométrico da propagação, refração e reflexão da luz, a ideia de frente de onda e o "princípio de Huygens". 2. Sobre as concepções de Newton, cabe trabalhar: a materialidade da luz, a interação da luz com outros corpos materiais por meio de forças, o conceito de "estados de fácil transmissão" e "fácil reflexão" elaborados para explicar o fenômeno hoje conhecido como "anéis de Newton", os modelos para explicar as cores dos corpos, entre outros. 3. Sobre Young, é possível abordar: a analogia entre luz e som, o conceito de luz como onda longitudinal, as ideias sobre interferência. 4. Sobre Fresnel, pode ser trabalhado: o conceito de luz como onda transversal, explicações sobre difração e polarização, as "integrais de Fresnel" etc.
	Vertente prática	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estudo sobre o fenômeno de "anéis de Newton" e o modelo explicativo elaborado e discutido por Newton no <i>Óptica</i>; 2. Análise do experimento da fenda dupla de Young.
Contexto metacientífico	<ol style="list-style-type: none"> 1. A existência de explicações diferentes na Ciência é comum e muitas vezes necessária para uma interpretação mais coerente de um fenômeno. Os modelos explicativos de Huygens, Newton, Young e Fresnel, com suas diferenças, semelhanças e complementaridades conseguiram explicar de forma coerente a natureza da luz e seus fenômenos básicos, como refração e reflexão. Ressalta-se aqui o 	

	aspecto diacrônico dessas proposições e modelos.
Contexto pedagógico	1. Construção de abordagens alternativas para o ensino de conceitos básicos de Óptica, tais como refração, reflexão e propagação da luz, a partir dos conteúdos históricos estudados.

Das possibilidades elencadas no quadro acima, foram enfatizadas algumas partes na aplicação piloto da AMHIC em EDP V. Em relação à vertente teórica do *contexto científico*, foram discutidos com mais detalhes os pontos 1 e 2, sobre Huygens e Newton. Os pontos 3 e 4 (Young e Fresnel) foram trabalhados brevemente, contudo, ressaltando os elementos fundamentais das concepções sobre a natureza da luz destes dois cientistas. Neste episódio, não foi trabalhada a vertente prática.

O *contexto metacientífico* envolveu o elemento da problematização inicial. Ao longo da discussão sobre as concepções de luz de Huygens, Newton, Young e Fresnel, foi constantemente destacado o aspecto da Natureza da Ciência sobre a possibilidade da existência de diferentes explicações para uma mesma classe de fenômenos, sendo todas elas coerentes dentro de seus arcabouços teóricos e contextos de produção. Com isso, buscou-se trabalhar o aspecto diacrônico dessas proposições, ou seja, aos licenciandos foram apresentados elementos que ilustram a ideia de que cada uma das concepções sobre a luz foi pensada sob a égide de seu tempo, evitando, dessa forma, uma visão anacrônica da Ciência.

O *contexto pedagógico* foi trabalhado após a discussão do episódio. Foi listada e analisada com os licenciandos uma série de possibilidades de um tratamento histórico dos conceitos ligados ao episódio. Houve um destaque especial para o modelo de Huygens, cuja análise estritamente geométrica do comportamento da luz em fenômenos como a refração e reflexão pode favorecer uma compreensão mais abrangente destes.

Episódio 2 – Os experimentos com prismas e a heterogeneidade da luz branca

O episódio 2 foi discutido na terceira aula do Bloco 1, realizada no laboratório didático. Para este episódio, foi disponibilizada uma fonte secundária para consulta e a tradução para o português do artigo "Nova teoria de luz e cores". A descrição completa pode ser conferida no Quadro 6 abaixo. A fonte primária foi classificada como leitura obrigatória.

Quadro 6 – Materiais disponibilizados para o Episódio 2.

Fonte secundárias	SILVA, C.C.; MARTINS, R.A. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. Ciência e Educação , v. 9, n. 1, pp. 53-65, 2003.
Fonte primária	*SILVA, C.C.; MARTINS, R.A. A "Nova Teoria de Luz e Cores" de Isaac Newton: uma tradução comentada. Revista Brasileira de Ensino de Física , v. 18, n. 4, 1996.

Problematização inicial

Para o Episódio 2, a problematização inicial deu-se a partir da análise do seguinte aspecto da Natureza da Ciência que permeia o episódio: *as teorias científicas não são meras induções, mas hipóteses que vão imaginativa e necessariamente além das observações*. Este aspecto vai de encontro à noção usual de que a Ciência é pura e simplesmente experimental e observacional, ou seja, de um "indutivismo ingênuo" (CHALMERS, 1993, p. 24-28) ou de uma Ciência "ateórica" (GIL-PÉREZ, MONTORO, *et al.*, 2001, p. 129). As ideias científicas não são fruto apenas da indução, mas de um trabalho combinado entre observação e teoria ou, em outras palavras, uma interdependência entre as duas.

O Episódio 2 envolvendo os experimentos newtonianos com os prismas é particularmente interessante para problematizar e discutir este aspecto porque

Newton é popularmente conhecido – inclusive entre os graduandos em Física – como o mais autêntico defensor do indutivismo. Famoso por termos como o "Hypothesis non fingo" (Não faço hipóteses), Newton contribuiu para consolidar a ideia de que todas as explicações sobre os fenômenos naturais deveriam derivar única e exclusivamente da observação, não restando lugar para hipóteses. No *Óptica*, esta visão indutivista da Ciência é muito evidente. Escrito originalmente em inglês e recheado de análise de experimentos, a principal obra de Newton sobre os fenômenos da luz e das cores é permeada por uma linguagem simples – porém, com discussões sofisticadas – que, em uma primeira leitura, aparenta ter sido construída apenas pelo viés da observação. Nos últimos anos, entretanto, pesquisas historiográficas sobre as obras newtonianas, em particular sobre *Óptica*, têm apontado para o papel importante das hipóteses no trabalho de Newton (MOURA e SILVA, 2008; MOURA, 2008; SILVA, 1996).

Os experimentos com prismas envolvem o estudo de duas produções de Newton: o artigo "Nova teoria de luz e cores", publicado nas *Philosophical Transactions* da Royal Society de Londres em 1672 e a primeira metade do Livro I do *Óptica*. Apesar da frequente defesa de Newton pelo indutivismo e a negação do uso de hipóteses em sua Filosofia Natural, suas teorias não foram elaboradas única e exclusivamente a partir da experimentação. Em vários trechos da "Nova teoria" e do Livro I do "Óptica", é possível perceber que Newton se valeu da especulação e omissão para estabelecer a ideia de que a luz era uma mistura heterogênea de raios coloridos (SILVA e MARTINS, 1996; SILVA, 1996).

A análise dessas contradições entre o discurso e a prática ressalta o aspecto da Natureza da Ciência trabalhado no episódio: as teorias científicas não são induções. A referência a este aspecto ao longo do estudo do episódio contribui para que o licenciando desenvolva a percepção de que a Ciência não é puramente experimental e baseada apenas na observação de fenômenos. O papel das hipóteses e da imaginação é importante para o desenvolvimento das ideias científicas.

O episódio e os contextos da AMHIC

A análise do Episódio 2 sob a perspectiva dos três contextos da AMHIC pode ser realizada a partir de diversas possibilidades, que estão descritas no Quadro 7 abaixo.

Quadro 7 - Os contextos da AMHIC a partir do Episódio 2.

Contexto científico	Vertente teórica	1. Estudo do conceito de heterogeneidade da luz branca e as ideias sobre as cores discutidas por Newton.
	Vertente prática	1. Discussão sobre a posição do prisma e sua importância para o entendimento do experimento desenvolvido por Newton; 2. Função do <i>experimentum crucis</i> para estabelecer a heterogeneidade da luz branca.
Contexto metacientífico	1. Discussão do papel da imaginação e das hipóteses nas ideias desenvolvidas por Newton; 2. Dependência que o experimento/observação tem da teoria; 3. Experimentos não são provas de teorias.	
Contexto pedagógico	1. Estudo sobre o potencial deste episódio para dar uma nova dimensão ao ensino do conceito de heterogeneidade da luz branca, levando em conta não só os aspectos conceituais envolvidos, mas também as questões sobre a própria Ciência, como o método científico e o papel das hipóteses no desenvolvimento das ideias científicas.	

Para o Episódio 2, preferiu-se dar um maior destaque aos dois pontos da vertente prática do *contexto científico*, especialmente para a função da posição do prisma para o entendimento de todo o raciocínio de Newton na "Nova teoria". Os licenciandos foram levados ao laboratório, onde visualizaram a formação do

espectro de cores após a passagem da luz branca por um prisma e a influência da posição de "mínimo desvio", por meio de um aparato experimental específico. Como discussão complementar, foram debatidas as diferentes funções do *experimentum crucis* e o que exatamente ele mostrava, utilizando para isso, relatos contraditórios do próprio Newton. A vertente teórica do *contexto científico* foi trabalhada brevemente ao longo da discussão do *experimentum crucis*.

Figura 11 – Aparato experimental utilizado para a visualização do espectro de cores formado após a passagem de luz branca por um prisma.

Figura 12 – Detalhe para o prisma utilizado.

O *contexto metacientífico* envolveu o elemento da problematização inicial. Ao longo das discussões dos principais aspectos da "Nova teoria" e do Livro I do *Óptica*, evidenciamos aos licenciandos pontos da argumentação de Newton que denotam o papel das hipóteses e da especulação em suas ideias. Além disso, foi colocada em debate a questão da importância do *experimentum crucis*, no sentido de ressaltar que não pode haver um experimento crucial na Ciência, que termine em si mesmo. O *experimentum crucis* teve interpretações diferentes do próprio Newton, o que indica o caráter aberto e dependente da teoria que a atividade experimental possui.

O *contexto pedagógico* foi trabalhado ao final da abordagem do episódio. Discutiu-se com os licenciandos a potencialidade deste episódio como exemplo do papel do pensamento teórico, da imaginação, das hipóteses e da especulação na Ciência. A partir disso, podem ser minimizadas concepções de que o conhecimento científico é construído unicamente a partir da experimentação.

Bloco 3 – Episódios da História do Eletromagnetismo

No Bloco 3 foram trabalhados os dois episódios da História do Eletromagnetismo. O bloco teve duração de quatro aulas de duas horas-aula, entre os dias 10 e 31 de Outubro de 2011. A última destas quatro aulas foi destinada à aplicação de um trabalho em grupo sobre os dois episódios componentes do bloco.

Episódio 3 – Galvani, Volta e a invenção da pilha

Na primeira aula do bloco, focamos na discussão do Episódio 3. Para este episódio, foram disponibilizadas três fontes secundárias e uma fonte primária para consulta, que consistiu em um artigo de Volta traduzido para o português. A descrição completa pode ser conferida no Quadro 8 abaixo. O material indicado com "*" foi classificado com leitura obrigatória.

Quadro 8 - Materiais disponibilizados para o Episódio 3.

<p>Fontes secundárias</p>	<p>*MARTINS, R.A. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. Acta Scientiarum, v. 21, n. 4, p. 823-35, 1999.</p> <p>SILVA, C.C.; PIMENTEL, A.C. Uma análise da história da eletricidade presente em livros didáticos: o caso de Benjamin Franklin. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 1, p. 141-159, 2008.</p> <p>BOSS, S.L.B.; CALUZI, J.J. Os conceitos de eletricidade vítrea e resinosa segundo DuFay. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 4, p. 635-644, 2007.</p>
<p>Fonte primária</p>	<p>MAGNAGHI, C.P.; ASSIS, A.K.T. Sobre a eletricidade excitada pelo simples contato entre substâncias condutoras de tipos diferentes – uma tradução comentada do artigo de Volta de 1800 descrevendo sua invenção da pilhas elétricas. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 25, n. 1, p. 118-140, 2008.</p>

Problematização inicial

Para o Episódio 3, a problematização inicial deu-se a partir da análise dos seguintes aspectos da Natureza da Ciência que permeiam o episódio: *o desacordo é sempre possível na Ciência e a Natureza não produz evidência simples o bastante para permitir uma interpretação não ambígua*. Estes aspectos aproximam-se deste episódio em particular porque as ideias de Galvani e Volta foram construídas com base no mesmo fenômeno e apresentavam interpretações diferentes do mesmo, o que provocou um desacordo entre os dois e seus seguidores. Isto é problematizador, pois é frequente o senso de que um fenômeno natural só pode ter uma única explicação, ou seja, de que o conhecimento científico é dogmático e fechado. Destaca-se também um contraponto com a visão exclusivamente analítica da Ciência, em que não há relação entre as diferentes áreas, Física, Química e Biologia, por exemplo (GIL-PÉREZ, MONTORO, *et al.*, 2001, p. 131-32).

Galvani e Volta trabalharam com o mesmo fenômeno, mas desenvolveram modelos explicativos diferentes para tratá-lo. Enquanto o primeiro atribuía o movimento das pernas das rãs a um "fluido nervoso" do próprio animal sendo transmitido pelos metais, o segundo afirmou que a rã seria apenas um detector de eletricidade e que este fenômeno era devido à eletricidade comum, e não a algum tipo de "eletricidade animal". Muitas vezes se utilizando de argumentos semelhantes, os dois foram capazes de desenvolver ideias divergentes, mas coerentes, que davam conta das nuances do fenômeno. Este desacordo evidencia que não é possível obter da Natureza uma evidência suficientemente simples e objetiva que permita apenas uma interpretação inequívoca.

O episódio e os contextos da AMHIC

A análise do Episódio 3 sob a perspectiva dos três contextos da AMHIC pode ser realizada a partir de diversas possibilidades, que estão descritas no Quadro 9 abaixo.

Quadro 9 - Os contextos da AMHIC a partir do Episódio 3.

Contexto científico	Vertente teórica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conceituação do modelo explicativo de Galvani sobre o "fluido nervoso" das rãs e os pressupostos teóricos que levou em conta (como, por exemplo, a ideia de "atmosfera elétrica" ou de eletricidade como fluido). 2. As ideias de Volta de que os metais atraíam eletricidade e a transmitiam através das rãs quando tocavam nelas e os conceitos relacionados à pilha por ele desenvolvida.
	Vertente prática	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análise dos experimentos com as rãs e com outros animais, que cuidados eram tomados e que fenômeno era observado. 2. Estudo sobre os instrumentos desenvolvidos por Volta no intuito de detectar eletricidade

		<p>nos metais, como o eletrômetro e o eletróforo.</p> <p>3. Discussão sobre a estrutura e funcionamento da pilha desenvolvida por Volta, dos metais utilizados, das condições necessárias para que a pilha produzisse fenômenos notáveis etc.</p>
Contexto metacientífico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Discussão sobre as evidências produzidas e as interpretações diferentes dadas por Galvani e Volta; 2. A influência da invenção da pilha em outros âmbitos da sociedade, como a medicina e a literatura. 	
Contexto pedagógico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contribuição do episódio histórico para o ensino do funcionamento de pilhas e baterias, levando em conta como seu desenvolvimento foi consequência do estudo sobre "eletricidade animal". 2. Possibilidade de análise interdisciplinar do episódio, entre as áreas de Física, Química e Biologia. 	

Das possibilidades elencadas no quadro acima para o *contexto científico*, foram trabalhadas somente aquelas da vertente teórica. Para isso, fizemos uma análise minuciosa do estudo de Martins (Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade, 1999), delineando as principais questões do contexto da época – eletricidade animal, fluido elétrico – e explorando as características dos modelos explicativos de Galvani e Volta, especialmente àqueles que levaram à invenção da pilha por este último.

Sob a perspectiva do *contexto metacientífico*, foram analisadas com os licenciandos as diferenças dos modelos de Galvani e Volta, comparando-os abertamente. Esta análise buscou ressaltar a validade das duas concepções na época e a dificuldade em estabelecer um ponto que favorecesse um dos modelos.

O *contexto pedagógico* foi trabalhado ao final da abordagem do episódio. Discutiu-se com os licenciandos a potencialidade deste episódio como exemplo de abordagem interdisciplinar entre Física, Química e Biologia. Os conceitos dessas três áreas da Ciência envolvidos no episódio podem ser trabalhados de maneira integradora, a partir de diferentes perspectivas de analisar o fenômeno envolvido.

Episódio 4 – Oersted e a construção do eletromagnetismo

As duas aulas seguintes do Bloco 3 foram utilizadas para discutir o Episódio 4. Para este episódio foram disponibilizadas aos licenciandos três fontes secundárias. A descrição completa pode ser conferida no Quadro 10 abaixo. Os materiais indicados com "*" foram classificados como leitura obrigatória.

Quadro 10 - Materiais disponibilizados para o Episódio 4.

<p>Fontes secundárias</p>	<p>*MARTINS, R.A. Ørsted e a descoberta do eletromagnetismo. Cadernos de História e Filosofia da Ciência, v. 10, p. 89-114, 1986.</p> <p>*SILVA, C.C. Pierre Currie e a simetria das grandezas eletromagnéticas. In: SILVA, C.C. (org.). Estudos de História e Filosofia da Ciência: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.</p> <p>MARTINS, R.A. Contribuição do conhecimento histórico ao ensino do eletromagnetismo. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 5, p. 49-57, 1988.</p>
----------------------------------	--

Problematização inicial

Para o Episódio 4, a problematização inicial deu-se a partir da análise do seguinte aspecto da Natureza da Ciência que permeia o episódio: *no desenvolvimento das ideias científicas pode haver influências de concepções prévias dos cientistas, ou seja, não há neutralidade do pensamento científico*. Isso implica que a Ciência não é socialmente neutra, como se realizada em ambientes isolados da interferência

humana e, principalmente, de suas crenças e princípios (GIL-PÉREZ, MONTORO, *et al.*, 2001, p. 133).

No campo filosófico, as ideias de Oersted foram guiadas pela *Naturphilosophie*, que tinha como um de seus pressupostos a existência de um ponto comum nas explicações das manifestações da Natureza. Sendo assim, ele evidentemente buscava uma relação entre fenômenos elétricos e magnéticos. No campo científico, Oersted estava ciente dos diversos estudos realizados na época para estabelecer essa relação e da conhecida influência de raios em bússolas. A construção do Eletromagnetismo não foi, portanto, resultado de uma simples coincidência de fatos, mas consequência da busca e, principalmente, da dedicação de Oersted para entender o fenômeno.

Atrelado a esta problematização inicial, há um problema complementar, mas igualmente relevante: o efeito magnético *circular* causado por uma corrente elétrica que se move em *linha reta*. Ao longo do estudo sobre Física, os licenciandos estão acostumados a admitir sem questionar este efeito. Entretanto, o par causa e consequência não é minimamente intuitivo, afinal, qual é a lógica aparente de algo em *linha reta* ocasionar um efeito circular? Com este problema, os licenciandos são levados a uma reflexão sobre a própria natureza dos conceitos físicos.

O episódio e os contextos da AMHIC

A análise do Episódio 4 sob a perspectiva dos três contextos da AMHIC pode ser realizada a partir de diversas possibilidades, que estão descritas no Quadro 11 abaixo.

Quadro 11 - Os contextos da AMHIC a partir do Episódio 4.

Contexto científico	Vertente teórica	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conceito de simetria na Física; 2. Conceito de efeito magnético circular produzido por uma corrente elétrica.
	Vertente prática	<ol style="list-style-type: none"> 1. Interação da agulha magnética com o efeito magnético produzido pela corrente elétrica; 2. Estudo das anotações experimentais de Oersted.
Contexto metacientífico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Influência da <i>Naturphilosophie</i> nos trabalhos e na conduta de Oersted; 2. Influência do contexto da época na motivação de Oersted em estabelecer uma relação entre Eletricidade e Magnetismo; 3. Necessidade da mudança de concepção de Oersted para o entendimento do fenômeno; 4. Recepção dos trabalhos de Oersted / Resistência da comunidade científica da época em aceitar um modelo que não se encaixava com os padrões de simetria então adotados. 	
Contexto pedagógico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uso do conceito de simetria evidenciado a partir do episódio para discutir e diferenciar grandezas físicas / Conceito de vetor e pseudovetor; 2. Reprodução do experimento de Oersted e reflexão sobre sua potencialidade didática em aulas de Eletromagnetismo. 	

Os pontos componentes das vertentes prática e teórica do *contexto científico* foram trabalhados de forma simultânea ao longo das duas aulas destinadas ao Episódio 4. Na primeira delas, foram discutidas as duas versões para a “descoberta” – de Oersted e de Hansteen –, a proposta da *Naturphilosophie* e os temas que eram debatidos na época. Na segunda aula, os licenciandos foram levados ao laboratório, onde reproduziram os experimentos de Oersted de duas formas: a partir de um kit

experimental específico e utilizando um fio de cobre ligado a uma pequena bateria. O propósito desta atividade experimental foi trabalhar os conceitos de simetria envolvidos no fenômeno.

Figura 13 – Aparatos experimentais utilizados pelos licenciandos para reproduzir os experimentos de Oersted.

Do *contexto metacientífico*, foram discutidos com mais detalhes os pontos de 1 a 3. Os licenciandos foram levados ao longo das aulas a refletir sobre as influências sofridas por Oersted e a necessidade de uma mudança de concepção para compreender o fenômeno. Estes elementos foram os pontos de partida para debatermos sobre a não neutralidade da Ciência.

Os dois pontos do *contexto pedagógico* foram trabalhados ao final da abordagem. Em suma, foi discutida com os licenciandos a potencialidade do episódio para ensinar conceitos básicos do Eletromagnetismo – campos elétrico e magnético, por exemplo – e, principalmente, a simetria e antissimetria das grandezas eletromagnéticas. Os experimentos podem ser reproduzidos por meio de materiais simples.

Bloco 4 – Discussão sobre o material didático

O último bloco da disciplina foi composto pelas discussões sobre a elaboração dos materiais didáticos e pela apresentação destes. O bloco teve duração de quatro aulas de duas horas-aula cada, entre os dias 07 de Novembro e 05 de Dezembro de 2011.

Os licenciandos deveriam elaborar dois materiais didáticos para ensinar conceitos de Óptica e de Eletromagnetismo utilizando como recurso a História da Ciência. Sendo assim, o conteúdo histórico não poderia desempenhar um papel secundário, mas ser protagonista do material, fazer parte efetiva dele.

Nas duas primeiras aulas do bloco, foram trabalhados os elementos que deveriam ou não ser levados em conta na construção dos materiais didáticos. Os licenciandos foram orientados a evitar distorções nos conteúdos históricos e tratar diacronicamente os conceitos atualmente considerados obsoletos.

Na terceira aula, os licenciandos entregaram os materiais e os apresentaram para o docente e os demais alunos da turma. Na quarta e última aula, foi realizado um panorama da disciplina e uma discussão aberta com os alunos. Como um último registro das impressões dos alunos ainda enquanto matriculados na disciplina, foi aplicado um questionário final de avaliação³⁶.

³⁶ Ver seção 5.2.4.

CAPÍTULO 5 – OS DADOS E OS RESULTADOS

5.1. Os dados coletados

Para analisarmos a implementação da Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC) em EDP V, nos valem os métodos de pesquisa qualitativa em educação (LÜDKE e ANDRÉ, 1986). Foi obtido um conjunto de dados separados em três categorias, a fim de possibilitar sua triangulação (ERICSON, 1998):

- Dados escritos;
- Anotações do pesquisador/docente sobre as aulas;
- Entrevista com os licenciandos.

A análise da aplicação da AMHIC na disciplina EDP V pode ser considerada um estudo de caso de observação, por incidir "sobre uma organização específica, ao longo de um período determinado de tempo, relatando seu desenvolvimento" (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p. 90)

Os dados coletados tiveram diferentes funções ao longo da pesquisa, as quais serão discutidas com mais detalhes logo abaixo.

Os dados escritos

Os dados escritos compreenderam:

- Três questionários abertos aplicados em momentos diferentes:
 - Questionário sobre Natureza da Ciência;
 - Questionário sobre a utilização da História da Ciência no Ensino;
 - Questionário final de avaliação.
- Dois materiais didáticos apresentados ao final da disciplina.

O primeiro questionário aberto aplicado foi baseado no instrumento V-NOS / Form C elaborado e validado por Lederman e colaboradores (2002)³⁷. Nesta pesquisa, utilizamos uma versão modificada do V-NOS / Form C, construída a partir de aplicações piloto em alunos de diferentes cursos de licenciatura (PORRA, SALES e SILVA, 2011). Esta versão buscou solucionar problemas de interpretação identificados nestas aplicações pilotos, tornando o questionário mais simples e mais curto. Com o uso deste instrumento, a intenção foi mapear os sujeitos participantes da pesquisa em relação às suas visões de Ciência e do processo de construção do conhecimento científico. Este questionário pode ser conferido no Apêndice 3.

O segundo instrumento aplicado foi um questionário com duas perguntas, uma aberta e outra fechada. Este questionário foi respondido na terceira aula do Bloco 1 e buscou verificar especificamente a afinidade dos licenciandos com a História da Ciência. Estes dados permitiriam conhecer com mais detalhes como os sujeitos da pesquisa lidariam com conteúdos históricos e como possivelmente trabalhariam no *contexto pedagógico* da AMHIC. Este questionário pode ser conferido no Apêndice 4.

O terceiro instrumento consistiu de um questionário aberto com cinco questões. Este questionário foi aplicado na décima quinta e última aula de EDP V, em que foi feita uma discussão sobre toda a disciplina. A intenção deste questionário era obter a avaliação dos alunos sobre a abordagem contextualizada e a relação do licenciando com a História da Ciência (questões de 1 a 4), e verificar se a formação crítica foi favorecida (questão 5). Este questionário pode ser conferido no Apêndice 5.

Ao final do semestre, os dois grupos de licenciandos entregaram dois materiais didáticos cada, um sobre Óptica e outro sobre Eletromagnetismo. O propósito dos

³⁷ A versão literal traduzida deste questionário foi aplicada entre alunos da UFBA, com resultados interessantes (El-Hani et. al., 2004).

materiais didáticos foi estabelecer como os licenciandos pensaram o conteúdo histórico para a sala de aula.

As anotações sobre as aulas

Como parte importante da investigação qualitativa em educação, foram realizadas ao longo da aplicação da AMHIC em EDP V notas de campo sobre as aulas, a recepção e postura dos alunos em relação aos assuntos trabalhados em cada aula e os imprevistos que foram surgindo ao longo desse processo.

Pelo fato do pesquisador ser também o docente da disciplina, as anotações em sala de aula não foram possíveis em todas as situações. Nas atividades em laboratório, foi possível fazer anotações sobre comentários e posturas dos alunos, à medida que estavam envolvidos com a análise dos experimentos trabalhados.

As notas de campo tiveram a intenção de registrar impressões, opiniões e comportamentos dos licenciandos que não ficam evidentes nos dados escritos. Com isso, seria possível detectar, por exemplo, eventuais contradições entre estes dois dados.

As entrevistas com os licenciandos

Segundo Bogdan e Biklen (1994, p. 134), a entrevista é um instrumento utilizado para "recolher dados descritivos na linguagem do próprio sujeito, permitindo ao investigador desenvolver intuitivamente uma ideia sobre a maneira como os sujeitos interpretam aspectos do mundo". Nesse caso particular, a entrevista teve o objetivo de obter individualmente de cada sujeito participante suas impressões sobre a aplicação da abordagem contextualizada e a influência exercida sobre sua formação pessoal e profissional.

A entrevista com cada um dos alunos participantes ocorreu entre Junho e Julho de 2012, cerca de seis meses após o término da disciplina EDP V. Este intervalo foi

considerado importante para verificarmos se houve continuidade nos propósitos de formar criticamente o futuro professor pretendidos pela AMHIC. Cada um dos licenciandos foi entrevistado individualmente.

A entrevista foi guiada pelas perguntas descritas no Apêndice 6, se configurando como uma entrevista semiestruturada. As perguntas funcionaram como o ponto de partida das falas dos licenciandos e, entre elas, outras perguntas não previstas foram feitas no sentido de complementar ou detalhar seus argumentos.

5.2. A análise dos dados

Nas subseções seguintes, apresento a análise dos dados obtidos. Na análise dos questionários, das avaliações, dos materiais didáticos e das entrevistas, os licenciandos serão identificados por letras (Licenciando A, B etc.). Para facilitar, os dados serão discutidos na mesma ordem em que foram aplicados ou registrados.

5.2.1. O questionário sobre Natureza da Ciência³⁸

O questionário sobre Natureza da Ciência foi aplicado no dia 08 de Agosto de 2011 e respondido por todos os cinco licenciandos que cursavam a disciplina. Para este questionário especificamente, optei por categorizar as respostas, seguindo as categorias elaboradas por El-Hani e colaboradores (2004), adicionando ou excluindo quando necessário. Para a categorização das respostas das questões 3 e 5 foi elaborado um conjunto novo de categorias. Ao longo da análise, citarei algumas respostas literais dos licenciandos.

³⁸ Ver Apêndice 3.

O propósito deste questionário foi levantar as concepções de Ciência dos licenciandos. Por meio de sua análise, foi possível ter um panorama de seus perfis e de suas eventuais visões inadequadas sobre Natureza da Ciência. Isso possibilitou que fossem delineados diferentes encaminhamentos ao longo da disciplina, privilegiando algumas discussões e tratando superficialmente outras.

A Questão 1 do Questionário sobre Natureza da Ciência buscou investigar as ideias dos licenciandos sobre uma possível definição de Ciência:

"Atualmente podemos dizer que vivemos em uma sociedade que valoriza muito a cultura científica, afinal você já deve ter visto produtos que possuem em seu rótulo a expressão "cientificamente comprovado". Em sua opinião, é possível definir ciência? Em caso afirmativo, qual seria a sua definição? Em caso negativo, o que impede de chegar a essa definição?"

Os resultados estão descritos no Quadro 12 abaixo.

Quadro 12 – Questão 1: É possível definir Ciência?

QUESTÃO 1			RESPOSTAS
CATEGORIAS			
A	É possível definir Ciência.		
	A1	A ciência é todo processo de investigação ou método ou série de instrumentos cujo objetivo é responder questões concretas colocadas pela espécie humana, tornando possível explicar o mundo.	1
	A2	Ciência é estudo.	1
	A3	Ciência é um modelo que estuda a realidade.	1
	A4	Ciência é um modelo que utiliza a razão para explicar os fenômenos naturais	1
B	Não é possível definir Ciência		
	B1	Definir ciência é limitá-la; é excluir seus outros sentidos.	1

Em relação à definição de Ciência, nota-se que esta é uma pergunta complexa para os licenciandos. Quatro deles afirmaram que é possível definir Ciência, mas apresentaram visões muito diferentes do que seria esta definição. Alguns deles se referiram à Ciência como modelo ou método para estudar o mundo natural:

Ciência é um modelo que utiliza a razão para interpretar e explicar os fenômenos ao nosso redor. (Licenciando E)

Ciência é apenas um método, dentre vários outros, assumido para buscar respostas. (Licenciando A)

Outro licenciando afirmou que, embora não pudesse ter uma definição sucinta, a Ciência poderia ser definida por aquilo que estuda:

Por este motivo, quando nos deparamos com uma expressão como citada na questão ["comprovado experimentalmente"], entramos em conflito com as demais ciências. O que leva a este conflito são as bases de estudo que delimitam a ciência como algo que possa ser estudado e comprovado experimentalmente. (Licenciando D)

Apenas um licenciando respondeu que não é possível definir Ciência; entretanto, em sua resposta ele afirmou que a Ciência seria o "ato de pesquisar":

Ela se preocupa sim em investigar fenômenos naturais, mas não vai muito além disso [...]. Por isso definir ciência como sendo "algo" é excluir todos os outros sentido e características da mesma, ou seja, definir ciência é limitá-la. (Licenciando B)

Esta variedade de respostas evidencia a heterogeneidade da sala, em que cada estudante adotou uma concepção diferente para a Ciência. Muito provavelmente, isto decorreu do fato de que a pergunta sobre a definição de Ciência é capciosa e pode levar a respostas muito arraigadas em definições de senso comum ("Ciência é estudar", "Ciência é investigar") e pouco envolvidas nas questões epistemológicas atuais ligadas à Ciência.

A segunda questão está relacionada à primeira, procurando traçar concepções complementares dos licenciandos sobre uma definição de Ciência:

"Em sua opinião é possível diferenciar ciência de religião ou de filosofia? Justifique sua resposta."

A partir da confrontação direta com outras formas de conhecimentos, os licenciandos poderiam deixar mais claras suas visões sobre Ciência. Os resultados estão descritos no Quadro 13 abaixo.

Quadro 13 – Questão 2: É possível diferenciar Ciência de Religião ou Filosofia?

QUESTÃO 2			RESPOSTAS
CATEGORIAS			
A	A ciência não difere da religião ou da filosofia		
	A1	Porque todas elas se aplicam ao estudo de algo.	1
	A2	Porque todas estudam os mesmos fatos, mas a partir de perspectivas diferentes.	1
B	A ciência difere da religião ou da filosofia.		
	B1	Porque é concreta e comprova suas ideias sobre o mundo, enquanto as outras formas de conhecimento são abstratas e não comprovam suas ideias sobre o mundo.	1
	B2	Por sua epistemologia, metodologia, concepção de mundo e/ou finalidade.	1
C	A ciência difere e não difere da religião e da filosofia		
	C1	O objeto de estudo é diferente, mas todas as três buscam respostas para o que é desconhecido.	1

Assim como na questão anterior, aqui tivemos cinco respostas diferentes dentro de três categorias. Dois licenciandos afirmaram que não é possível diferenciar Ciência da Religião ou Filosofia por todas elas, de alguma forma, se dedicarem ao estudo de algo, mesmo que de perspectivas diferentes.

Não é possível diferenciá-los pois ambos estudam os mesmos fatos mas sobre óticas diferentes e usando argumentos diferentes. (Licenciando B)

[...] não podemos diferenciar a ciência da religião ou filosofia, sendo que estas se baseiam em fatos naturais, culturais ou linguísticos. (Licenciando D)

Por outro lado, dois licenciandos responderam que é possível diferenciar Ciência da Religião ou Filosofia. Um deles apontou que isto é devido à "solidez" da Ciência

adquirida por meio da linguagem matemática; outro afirmou que as visões sobre o mundo são diferentes entre essas três áreas:

São modelos diferentes que analisam e explicam o mundo da sua forma. O primeiro normalmente utiliza de um método científico, que não é único, que utiliza da razão; o segundo é embasado na fé, em uma doutrina; o terceiro utiliza apenas do pensamento. (Licenciando E)

Um dos respondentes afirmou que a diferenciação existe, mas depende do aspecto que está sendo analisado. Por esta razão, este foi incluído na categoria C.

Se formos analisar o objeto ao qual cada uma das vertentes estão ligadas vemos que cada uma delas seguem diferentes direções, no entanto as três são meios de buscar respostas para o que é "desconhecido" e neste aspecto podemos considerá-los semelhantes. (Licenciando A)

As respostas a essa pergunta denotam que o grupo possuía visões diferentes a respeito da relação entre a Ciência e outras formas de conhecimento. Isto, por um lado, é um aspecto positivo, uma vez que foi possível trabalhar com diferentes pontos de vista ao longo das atividades. Contudo, houve o cuidado em não minimizar o conhecimento religioso ou filosófico em prol do conhecimento científico; pelo contrário, buscou-se estabelecer as diferenças e semelhanças entre os três.

A Questão 3 teve o intuito de levantar a percepção dos licenciandos sobre a existência de um método científico universal, baseado somente na indução. Indiretamente, buscou-se obter indícios se os licenciandos consideravam importantes aspectos subjetivos no trabalho do cientista, como a criatividade e a imaginação:

"É comum a divulgação do método científico composto das seguintes etapas: observação de fenômenos naturais, formulação de hipóteses, teste da hipótese através de experimentos, modificação da hipótese em caso de falha nos testes ou, em caso de validação desta, a elaboração de uma teoria. Em sua opinião esse é o único método de fazer ciência? Justifique a sua resposta seja ela afirmativa ou não."

Os resultados estão descritos no Quadro 14 abaixo.

Quadro 14 – Questão 3: Existe um único método científico?

QUESTÃO 3			RESPOSTAS
CATEGORIAS			
A	Não existe um único método de se fazer ciência.		
	A1	A ciência não segue uma ordem cronológica de acontecimentos.	1
	A2	A ciência não pode seguir um único método porque é influenciada pelo meio social	1
	A3	Podem existir vários métodos científicos.	1
	A4	A ciência não se baseia somente em fatos experimentais.	1
	A5	Não existe um único método. Mas o método científico pode ser o melhor modelo.	1

Para a Questão 3, quatro licenciandos foram unânimes em responder que não há um método científico único, utilizando uma série de argumentos diferentes. Embora as razões nas quais cada um se baseou foram diferentes, levamos em conta o consenso de que a universalidade metodológica da Ciência não é possível.

"Fazer ciência" não é uma questão fácil de se discutir visto que não existe um único método a se seguir, não existe uma "receita" para que se crie uma teoria e para que se valide a mesma. (Licenciando A)

Dizer que ciência só pode ser feita seguindo um único método é excluir um aspecto da natureza da ciência de ser influenciada pelo meio social. (Licenciando B)

Apenas uma das respostas se diferenciou das outras (A5). O respondente afirmou que o método universal não existia, mas que o método científico seria um modelo, que poderia eventualmente não ser capaz de explicar certos fenômenos.

Não. O método científico é apenas um modelo, talvez o melhor, para analisar e explicar os fenômenos e interações existentes, mas não quer dizer que seja o único método. Acredito que existam fenômenos e mistérios que o método científico nunca será capaz de explicar e nesse contexto que

tornam-se válidas outras tentativas de desvendar tais coisas, como é o caso da religião. (Licenciando E)

Estas respostas indicaram que a discussão sobre o método científico deveria ser mais enfática, principalmente no Episódio 2 (Os experimentos com prismas e a heterogeneidade da luz branca), a fim de que os licenciandos pudessem ter uma compreensão mais clara sobre a dita universalidade do método e de sua própria estrutura.

A Questão 4 visou analisar as concepções dos licenciandos sobre o papel do experimento na Ciência. A menção de episódios conhecidos da História da Ciência (Mendell e as ervilhas, Newton e os prismas, Einstein e a relatividade) foi feita para contextualizar situações que envolveram experimentos e outras que não envolveram:

"Você já deve ter lido sobre os trabalhos experimentais de Newton com os prismas, de Gregor Mendell com as ervilhas, assim como dos trabalhos teóricos de Albert Einstein sobre a teoria da relatividade. Pense nos exemplos citados e em outros que você conheça e diga se, na sua opinião, o uso de experimentos na ciência é essencial. Justifique sua resposta."

Os resultados estão descritos no Quadro 15 abaixo.

Quadro 15 – Questão 4: O uso de experimentos é essencial na Ciência?

QUESTÃO 4			RESPOSTAS
CATEGORIAS			
A	O uso de experimentos na ciência é essencial		
	A1	Porque é preciso testar as proposições científicas, para comprová-las.	1
B	O uso de experimentos na ciência não é essencial.		
	B1	Porque o conhecimento científico pode ser adquirido através de observação apenas e/ou estudos teóricos sobre o fenômeno estudado.	1
	B2	Porque muitas vezes o objeto de estudo é tal que não há como fazer experimentos diretos a partir de uma teoria.	2
C	O uso de experimentos na ciência é e não é essencial.		

	C1	Porque experimentos são necessários para o desenvolvimento do conhecimento científico, pois é preciso testar e constatar a veracidade de hipóteses. Porém, experimentos não são suficientes para esse desenvolvimento, porque é também necessário o desenvolvimento da ciência teórica.	1
--	----	---	---

Para a Questão 4, notamos que a maioria dos licenciandos respondeu que os experimentos não são essenciais ou que são importantes somente em alguns momentos. Os enquadrados na categoria B (O uso de experimentos não é essencial) fizeram referência aos experimentos de pensamento realizados por Einstein no desenvolvimento da Teoria da Relatividade Restrita.

Uma simples prática de imaginação como Einstein desenvolveu é um exemplo claro que de a ciência não se fundamenta somente em respostas experimentais. (Licenciando D)

Atribuímos estas respostas a dois motivos: em Estudos e Desenvolvimento de Projetos IV, cursada no semestre anterior a EDP V, foi trabalhado com os alunos um documentário sobre Einstein e a Relatividade Restrita, que discutiu, entre outras coisas, o famoso experimento de pensamento envolvendo a queda de raios e um trem em movimento; além disso, o estudo histórico desenvolvido por um dos grupos em EDP IV tinha as ideias de Einstein em relação ao tempo como aspectos principais. Sendo assim, concluí que os alunos estavam imersos ainda nestas ideias e as utilizaram para embasar o argumento de que o experimento não é essencial, uma vez que não foi – a princípio – para estabelecer uma das principais teorias físicas modernas: a Relatividade Restrita.

Um dos licenciandos respondeu que os experimentos têm um papel auxiliar, sendo o "pensar" mais relevante. Segundo ele, a busca pelo conhecimento começa pelo campo das ideias.

Acredito que os experimentos auxiliem na execução da pesquisa, no entanto acredito que o "pensar" seja mais relevante que o experimento [...]. (Licenciando A)

Apenas o Licenciando C respondeu que a experimentação na Ciência é essencial. Segundo ele, o experimento é fundamental para a validação de uma teoria. Em suas respostas às questões 1 e 2, este mesmo estudante deixou transparecer a ideia de uma Ciência fortemente ligada à Matemática e à Racionalidade. Nesse sentido, foi de se esperar uma resposta afirmativa sobre a importância do experimento na Ciência.

A prevalência de respostas considerando o experimento pouco ou nada essencial na Ciência possibilitou que o papel desta atividade fosse tratado com grande aprofundamento epistemológico, principalmente nos episódios 2 e 4. Cientes do papel da experimentação na Ciência, estes alunos poderiam compreender melhor as nuances em relação à função que alguns experimentos desempenharam neste episódio.

Por outro lado, a presença de uma resposta essencialmente objetiva motivou uma atenção maior na reação dos alunos quando levados ao laboratório para reproduzirem ou observarem alguns dos experimentos citados nos episódios ou mesmo ao longo das aulas. Nesse sentido, não identifiquei mais essa fala ao longo da disciplina.

A Questão 5 teve o propósito de averiguar a posição dos licenciandos sobre a possibilidade de um mesmo fenômeno ou conjunto de fenômenos terem diferentes explicações. Foi utilizado um exemplo atual – o aquecimento global –, a fim de que os respondentes pudessem compreender melhor o tema da questão:

"Um tema muito discutido atualmente é o aquecimento global. Apesar de muitas mudanças no clima já serem sentidas por todos ainda não existe um consenso entre os cientistas sobre as causas dessas mudanças. Um grupo defende que tais mudanças são consequências da interferência do homem na natureza e outro grupo acredita que este é um processo natural e que aconteceria independente da interferência humana. Em sua opinião, é possível que cientistas cheguem a conclusões diferentes a partir de um mesmo conjunto de informações? Justifique sua resposta com algum exemplo."

Os resultados estão descritos no Quadro 16 abaixo.

Quadro 16 – Questão 5: É possível ter diferentes explicações para um mesmo fenômeno?

QUESTÃO 5			RESPOSTAS
CATEGORIAS			
A	Sim, é possível chegar a conclusões diferentes a partir de dados iguais.		1
	A1	A ciência é influenciável, por isso não consegue ser totalmente imparcial.	1
	A2	As conclusões dependem da interpretação que é dada dos fatos.	2
B	Não categorizada.		1

Na Questão 5, quatro alunos afirmaram que é possível chegar a conclusões diferentes a partir dos mesmos dados. Foi interessante verificar nas respostas a compreensão de que a interpretação dos dados pode levar em conta as concepções dos cientistas.

Sim. Tudo depende da interpretação dos dados coletados. (Licenciando B)

Uma pessoa de determinada cultura não pode reconhecer um objeto ou língua de uma outra cultura completamente diferente da dela. (Licenciando E)

A resposta do Licenciando D não foi enquadrada em uma subcategoria por não apresentar justificativas mais detalhadas. O respondente afirmou que, no caso do problema em relação ao aquecimento global, a ideia da interferência do homem como causa é apenas "uma das maneiras de se obter hipóteses deste fenômeno natural". Considerei que esta resposta contemplou a ideia de que ele concorda com a ideia de diferentes conclusões para um mesmo fenômeno, mas não discutiu as razões disso.

A resposta do Licenciando C não foi categorizada. Embora seja uma resposta afirmativa, os argumentos colocados pelo licenciando deixou em dúvida sobre sua posição.

Sim. Acredito que a ciência é um modelo criado por uma cadeia de relações lógicas (no sentido matemático). Muitas destas relações são incontestáveis, mas outras não. Existem alguns princípios observados que são muito abstratos e difíceis de serem abordados pela ciência, mas mesma assim o são. Quando isto acontece, é criado normalmente toda uma cadeia lógica modelando algo que a princípio é incerto. São como erros que se multiplicam em uma equação. Na termodinâmica, na lei zero que diz o sentido da transferência de energia, temos um bom exemplo. Segundo o livro do Moysés, apesar do sentido de transferência do calor parecer um processo lógico, é simplesmente um fato experimental. Ainda assim, toda a termodinâmica parte desse princípio. Neste pensamento, duas diferentes abordagens científicas podem não contradizer a realidade. (Licenciando C)

A resposta afirmativa a essa pergunta foi essencial para o planejamento da discussão sobre o Episódio 3 (Galvani, Volta e a invenção da pilha), uma vez que este episódio envolve justamente a ideia da interpretação diferente sobre os mesmos dados. A resposta afirmativa dos licenciandos demonstrou que eles compreendiam que os mesmos fatos ou dados poderiam ser interpretados de diferentes maneiras, dependendo em grande parte das concepções dos cientistas, ponto este um dos principais neste episódio em particular.

A Questão 6 procurou traçar a compreensão dos licenciandos sobre a influência de questões sociais e culturais no desenvolvimento do conhecimento científico:

"Algumas pessoas afirmam que a Ciência é impregnada por valores sociais e culturais, por exemplo, a regimes políticos, a contextos sociais, a tradições religiosas. Isto é, a Ciência não é imune às influências externas. Outras pessoas afirmam que a Ciência é universal e neutra, ou seja, independe das fronteiras nacionais e culturais e não é afetada por valores sociais, políticos e filosóficos. Se você acredita que a ciência reflete valores sociais e culturais, explique por que e como ocorre essa influência. Se você acredita que a ciência é universal, explique por

que e como. Se possível, cite alguns exemplos para justificar sua resposta, em qualquer um dos casos."

Os resultados estão descritos no Quadro 17 abaixo.

Quadro 17 – Questão 6: A Ciência é influenciada por questões sociais e culturais?

QUESTÃO 6			RESPOSTAS
CATEGORIA			
A	A ciência é influenciada por fatores sociais e culturais.		1
	A1	A ciência é influenciada por fatores sociais e culturais, porque é praticada por pessoas imersas em uma cultura e um contexto social, e isso se reflete em sua produção científica e teorias.	4

Para a Questão 6, todos os respondentes afirmaram que a Ciência é influenciada por fatores sociais e culturais. A maioria deles atribuiu essa influência ao fato de que os cientistas estão imersos em seus contextos sociais e culturais e levam essa influência para o desenvolvimento de suas ideias.

Acredito que a ciência é influenciada pelo meio social pois ela também está inserida em uma sociedade complexa onde todos dependem das relações sociais para sobreviver [...]. (Licenciando E)

Apenas uma das respostas não foi subcategorizada, pois o licenciando afirmou apenas que a Ciência sofria influências "inevitavelmente" e não apresentou mais justificativas.

Por mais que se tente o contrário, a ciência inevitavelmente reflete valores sociais e culturais [...]. (Licenciando C)

A resposta afirmativa unânime a essa pergunta chamou a atenção. Esperava, a princípio, encontrar argumentos variados, contra e a favor da ideia da influência da sociedade no desenvolvimento científico. Acredito que essa concordância geral é resultado do trabalho realizado na disciplina anterior, EDP IV. Ao realizar estudos históricos, os licenciandos tiveram a oportunidade de verificar que a elaboração,

repercussão, aceitação ou rejeição de ideias científicas esteve ligada, muitas vezes, a fatores extracientíficos. Isso ressalta que o trabalho realizado em EDP IV foi importante para que os licenciandos chegassem a EDP V com uma visão mais crítica da Ciência e mais atenta às influências que sofre do meio que a rodeia.

A sétima e última questão trata da mutabilidade da Ciência. As respostas a essa questão foram importantes porque todos os episódios trabalhados continham conceitos científicos que foram modificados ou rejeitados:

"Após os cientistas terem desenvolvido uma teoria científica (por exemplo, a teoria da quântica, a teoria atômica, a teoria da evolução), essa teoria pode ser modificada depois? Se você acredita que as teorias científicas permanecem inalteradas ao longo dos anos, justifique sua resposta com alguns exemplos. Se você acredita que as teorias científicas são modificadas, explique por que isso acontece."

Os resultados estão descritos no Quadro 18 abaixo.

Quadro 18 – Questão 7: As teorias científicas podem ser modificadas?

QUESTÃO 7			RESPOSTAS
CATEGORIA			
A	As teorias são modificadas.		
	A1	Teorias podem ser modificadas a partir de novas descobertas ou evidências, frequentemente decorrentes de novos avanços tecnológicos.	3
	A2	Teorias podem mudar ou ser derrubadas graças ao surgimento de novas teorias que as contestem.	1
	A3	Teorias mudam quando surge uma teoria melhor ou pela descoberta de novos fatos ou conceitos, que pode ser resultado do avanço tecnológico.	1

Para a Questão 7, os pesquisados também foram unânimes em considerar que as teorias científicas podem sofrer modificações ao longo do tempo. De forma geral,

todas as respostas afirmaram que a mudança sempre ocorre para se adequar a uma nova descoberta ou quando uma teoria entra em confronto.

Elas podem ser modificadas, caso outra teoria explique melhor determinado fenômeno [...]. (Licenciando B)

Sim as teorias científicas são modificadas. [...] Com o desenvolvimento da ciência pode-se encontrar falhas nessas teorias [...]. (Licenciando E)

Estas respostas apontaram para a compreensão dos licenciandos sobre a mutabilidade do conhecimento científico, aspecto importante para o entendimento e envolvimento nas atividades com os episódios históricos em EDP V.

Comentários sobre o questionário sobre Natureza da Ciência

De forma geral, o resultado da aplicação deste questionário sobre as concepções de Natureza da Ciência dos alunos foi positivo. Com poucas exceções, os licenciandos apresentaram visões adequadas sobre o processo de construção do conhecimento científico, suas questões epistemológicas e sociológicas e as influências que sofre e exerce.

Um fato interessante é que estes alunos, em particular, não haviam cursado nenhuma disciplina que trabalhou especificamente tópicos de Epistemologia ou Filosofia da Ciência³⁹; exceto em Estudos e Desenvolvimento de Projetos IV, embora não detalhadamente. Por este resultado, consideramos que o trabalho executado em EDP IV pode ter contribuído para delinear concepções mais adequadas sobre a Ciência nos licenciandos, se levarmos em conta que, em geral, os estudantes chegam ao Ensino Superior com uma série de concepções distorcidas, principalmente relacionadas a visões estereotipadas da Física e da Ciência (HÖTTECKE e SILVA, 2011).

³⁹ No 1º período do curso, estes licenciandos cursaram a disciplina “Metodologia Científica”, com 30 horas-aula no total. Contudo, apesar do nome sugestivo, esta disciplina trabalhou com redação de textos científicos.

Com este resultado, foi possível planejar uma discussão mais detalhada dos aspectos epistemológicos e sociológicos presentes nos episódios históricos, sem procurar dilapidar concepções inadequadas dos alunos. Claramente, as respostas ao questionário não poderiam ser consideradas como um retrato absoluto das percepções dos licenciandos, uma vez que eles poderiam ter tentado mascarar suas verdadeiras concepções de Ciência, no intuito de "escrever o que o docente quer ler".

Nesse sentido, alguns cuidados foram tomados. Em primeiro lugar, foi discutida com os licenciandos antes da aplicação do questionário a liberdade total que tinham em suas respostas; eles foram explicitamente orientados a não se ater ao que "parece certo" ou "parece errado" escrever e serem totalmente sinceros em seus argumentos. Em segundo lugar, procurei observar ao longo das aulas se havia coerência entre os resultados do questionário e os argumentos colocados pelos licenciandos em momentos de interação. De forma geral, os licenciandos corresponderam às concepções presentes nas respostas ao questionário, com raras exceções; o que, de certa forma, se assemelha ao verificado na análise do questionário.

Sendo assim, o grupo foi muito propício para a aplicação da AMHIC. A análise do questionário sobre Natureza da Ciência demonstrou que os alunos possuíam concepções adequadas sobre a Ciência e o processo de desenvolvimento do conhecimento científico, muito provavelmente moldadas com o trabalho realizado em Estudos e Desenvolvimento de Projetos IV.

5.2.2. O questionário sobre História da Ciência⁴⁰

O questionário sobre História da Ciência foi aplicado no dia 15 de Agosto e respondido por todos os cinco licenciandos que cursavam a disciplina. O objetivo deste questionário era verificar a afinidade dos licenciandos com a História da Ciência e como pensariam em trabalhar conteúdos históricos em sala de aula.

A Questão 1 teve o intuito de obter a opinião do licenciando sobre a inclusão da História da Ciência no ensino e sua justificativa:

"Você consideraria incluir conteúdos de História da Ciência em suas aulas?"

Listamos abaixo as respostas e alguns trechos das justificativas de cada licenciando:

- Licenciando A: (NÃO) *"Acredito que a história da ciência é uma disciplina interessante que deveria ser ministrada juntamente com as outras disciplinas sendo ela uma disciplina de contextualização e não parte integrante da Física em si".*
- Licenciando B: (SIM) *"A ciência não é imutável, é necessário que o aluno vivencie períodos onde as teorias que explicavam um determinado fenômeno eram diferentes [...]".*
- Licenciando C: (SIM) *"Sem contextualização, feita basicamente através da história da ciência, a ciência fica parecendo um universo à parte".*
- Licenciando D: (SIM) *"A maneira como os pensadores da antiguidade se instigavam nos estudos científicos podem trazer para sala de aula perspectivas contagiantes, levando de certo modo a despertar o interesse do aluno pelo estudo científico".*

⁴⁰ Ver Apêndice 4.

- Licenciando E: (SIM) *"É importante que os alunos saibam um pouco sobre a vida dos cientistas e sob que circunstâncias as leis e teorias científicas que eles estudam diariamente foram pensadas e trabalhadas até serem aceitas".*

A Questão 2, por sua vez, buscou verificar como os licenciandos incluiriam a História da Ciência no ensino, tendo ou não afinidade com a área:

"Independente da resposta da Questão 1 (sim ou não), argumente abaixo sobre como você incluiria conteúdos históricos em uma aula voltada ao Ensino Médio. Sinta-se livre para escolher um assunto como exemplo (mecânica, eletromagnetismo etc.)."

Listamos abaixo alguns trechos das respostas:

- Licenciando A: "Acredito que um debate poderia ser feito para que os alunos manifestassem os seus conhecimentos sobre determinado assunto (mecânica, por exemplo) instigando-os a pensar nas circunstâncias em que os conhecimentos foram construídos".
- Licenciando B: "A apresentação seria no início da aula, seria mostrado o modelo antigo e algumas de suas características, depois seriam mostrados alguns acontecimentos, experimentos ou resultados que levaram a formulação do novo modelo".
- Licenciando C: "No eletromagnetismo a contextualização pela história da ciência foi fundamental para a minha compreensão de campo de força. Eu levaria esta experiência para uma aula do ensino médio. O ponto principal seria contextualizar que a ideia de campo elétrico esteve intrinsecamente relacionada com a ideia de ação à distância".
- Licenciando D: "Uma possível inclusão da história da ciência no ensino médio, poderia ocorrer fazendo uma interligação com o contexto histórico de tal ocorrência, por exemplo, indagar os alunos sobre o que levou determinado estudiosos a se aprofundar em dado estudo".

- Licenciando E: "Ao abordar teoria da relatividade em uma aula do ensino médio, trataria das contribuições de outros cientistas no desenvolvimento da teoria de Einstein. Utilizando um texto ou documentário e um rápido debate".

Comentários sobre o questionário sobre História da Ciência

A intenção deste questionário foi verificar a afinidade dos alunos com a História da Ciência. Obtivemos um bom resultado, visto que apenas um licenciando respondeu que não incluiria conteúdos históricos em suas aulas. Entretanto, mesmo este licenciando delineou uma concepção que está presente, de forma geral, em todas as outras quatro respostas: a História da Ciência tem o intuito de contextualizar a Ciência. Esta opinião consensual pode ser interpretada de duas maneiras.

A presença da ideia de que a História da Ciência pode contextualizar a Ciência é importante porque revela que os licenciandos compreendiam a natureza temporal do conhecimento científico, ou seja, foi um indício de que eles conseguiriam associar a elaboração de uma ideia científica com uma época em particular. Isto fica claro, por exemplo, na resposta do Licenciando E, quando este diz que: "É importante que os alunos saibam um pouco sobre a vida dos cientistas e sob que circunstâncias as leis e teorias científicas que eles estudam diariamente foram pensadas e trabalhadas até serem aceitas".

Dessa forma, podemos dizer que os licenciandos entendiam a Ciência como um empreendimento estritamente ligado ao tempo em que seria produzido e que, por isso, estaria sujeito a transformações.

Entretanto, a História da Ciência pode ser utilizada em sala de aula não apenas para contextualizar um conceito científico atual, mas também para ensiná-lo. De certa forma, a ideia de que o conteúdo histórico auxilia a contextualizar pode vir de uma questão de senso comum: a "História" me diz como os fatos ocorreram, em que

época e quais os personagens envolvidos; a "História" da Ciência é semelhante, mas aplicada ao "fato" científico.

Sendo assim, as respostas da primeira questão deste questionário contribuíram para indicar que os alunos possuíam uma boa afinidade com História da Ciência, mas que provavelmente não conheciam suas outras possibilidades de utilização no ensino.

A segunda questão do questionário teve como objetivo verificar como os licenciandos utilizariam a História da Ciência em suas aulas. De forma geral, notei que todas as respostas evidenciam um caráter secundário ou auxiliar da História da Ciência, no sentido de contextualizar um conceito científico.

Pelas respostas, concluí que alguns dos licenciandos não consideraram o conteúdo histórico como um recurso pedagógico próprio, mas como uma ferramenta para auxiliar, motivar ou introduzir um conceito científico. Esta conclusão é corroborada, por exemplo, pela análise da resposta do Licenciando B, afirmando que faria uma apresentação no "início da aula" sobre algum modelo antigo e depois seriam discutidos eventuais "experimentos ou resultados que levaram a formulação do novo modelo".

Dessa forma, percebi que os licenciandos carregavam a concepção de que a História da Ciência é um elemento "a mais", uma alegoria para o ensino dos conceitos científicos. Esta percepção já era esperada, uma vez que os licenciandos estão familiarizados com esta visão da História da Ciência, seja pelos materiais didáticos ou pelo discurso dos professores em disciplinas mais específicas do curso.

A História da Ciência não foi pensada por alguns licenciandos como um recurso pedagógico em potencial, que pode ser utilizado não apenas para "contextualizar" um conceito científico, mas também para ensiná-lo. Além disso, o conteúdo histórico não foi descrito nas respostas dos licenciandos como uma maneira de trabalhar a natureza do conhecimento científico e as questões envolvidas no desenvolvimento da Ciência.

As respostas para a segunda pergunta confirmaram uma hipótese que havia pensado antes da aplicação do questionário: os licenciandos podem entender e concordar com algumas vantagens da utilização da História da Ciência no ensino, mas quando deparados com os desafios de sua implantação na sala de aula, eles se apoiam na concepção comumente adotada, a saber, de que o conteúdo histórico é uma mera ilustração para o ensino de Ciência.

Sendo assim, este questionário foi importante para estabelecer os moldes das atividades que envolveriam o *contexto pedagógico* e alguns aspectos que deveriam ser levados em consideração para a elaboração do material didático que foi apresentado no final do semestre.

Com base nesses dados, averigui ao final da discussão de cada episódio as possibilidades de utilização dos assuntos ali debatidos em aulas de Física do ensino médio. Esta fala indicava que tópicos do episódio poderiam ser incluídos como recurso pedagógico para ensinar um conceito científico, um aspecto da Natureza da Ciência ou ambos.

Sobre o material didático, enfatizei que o propósito do material deveria ser ensinar Física, utilizando a História da Ciência como meio. Com isso, busquei estabelecer que o conteúdo histórico não poderia ser utilizado como simples alegoria nos materiais, mas como o caminho principal das discussões.

5.2.3. As anotações sobre as aulas

As anotações sobre as aulas foram feitas sempre ao término destas, a fim de garantir a boa qualidade do registro. Algumas aulas não contiveram detalhes relevantes a serem anotados; outras, por sua vez, propiciaram situações de ensino importantes. Mencionarei o registro destas últimas.

Aula 03 do Bloco 1 – 22/08/2011

Após a aplicação do Questionário sobre História da Ciência, iniciei a discussão sobre os aspectos da Natureza da Ciência. Embora tenha instigado os alunos sobre alguns dos aspectos, houve pouca participação. Nesta parte, enfatizei a importância do planejamento de atividades que se baseiam em conteúdos históricos e a relevância de se utilizar uma abordagem explícita de aspectos da Natureza da Ciência.

Em seguida, trabalhei com os parâmetros de Forato (2009). A discussão, no início, foi estéril; os licenciandos pouco opinaram, deixando suas impressões apenas ao final da discussão. Percebi que os licenciandos estavam se familiarizando aos poucos com o tema, o que pode ter levado à escassez de interação.

A discussão dos resultados da pesquisa sobre as concepções de Natureza da Ciência em alunos de Ciências Biológicas da UFBA realizado por El-Hani e colaboradores (2004) foi o passo seguinte. Pela fisionomia dos licenciandos, muitos possuíam concepções semelhantes com as dos respondentes do questionário, especialmente as distorcidas, o que me levou a destacar as visões sobre Natureza da Ciência consideradas inadequadas.

Aula 02 do Bloco 2 – 19/09/2011

Nesta aula, continuei a discussão do Episódio 1 (As teorias sobre a luz de Huygens, Newton, Young e Fresnel) iniciada na aula anterior. Novamente, percebi que os licenciandos não haviam lido os textos recomendados, o que estava dificultando muito o trabalho em sala de aula. Foi alertada a eles a importância da leitura dos materiais, uma vez que as aulas seriam fundamentadas a partir deles e que era imprescindível que eles estudassem antes da discussão.

Ao final desta aula, iniciei a discussão sobre os experimentos com prismas realizados por Newton, que seria detalhado na aula seguinte com a análise do Episódio 2 (Os experimentos com prismas e a heterogeneidade da luz branca). Os

licenciandos mostraram interesse pelo episódio, principalmente pelo fato de que iriam para o laboratório. Esse fato chamou a atenção para a relevância e motivação que o trato experimental de episódios históricos traz, ou seja, da vertente prática do *contexto científico*.

Aula 03 do Bloco 2 – 23/09/2011

Nesta aula, continuei a discussão sobre o Episódio 2 iniciada anteriormente. A aula foi realizada no laboratório didático, onde os licenciandos utilizaram um aparato didático para visualizar a formação do espectro de cores após a passagem de luz branca por um prisma. Com a sala escurecida, foi trabalhada a questão da posição de mínimo desvio do prisma, em que os licenciandos puderam verificar as características da imagem quando o prisma está ajustado nesta posição.

Os licenciandos apresentaram ótima motivação para realizar a atividade, se empenhando em montar o aparato experimental e visualizar o espectro. Questionei-os se já haviam visto a formação do espectro ou realizado algum experimento com prismas. Todos responderam negativamente às duas questões.

De forma geral, percebi que o Episódio 2 conseguiu atrair a atenção dos licenciandos para questões relacionadas ao *contexto metacientífico*, especialmente sobre o elemento problematizador trabalhado no início da discussão: *as teorias científicas não são meras induções, mas hipóteses que vão imaginativa e necessariamente além das observações*. Ao final da aula, coletei as impressões dos estudantes sobre o episódio e muitos sinalizaram a compreensão do papel de hipóteses, pensamento e imaginação no desenvolvimento das ideias científicas.

Aula 01 do Bloco 3 – 10/10/2011

Nesta aula, iniciei a discussão do Episódio 3 (Galvani, Volta e a invenção da pilha). Os licenciandos estavam muito dispersos e não houve questionamentos,

embora tenha os instigado a participar. Entretanto, novamente os alunos não leram os materiais, o que novamente dificultou o acompanhamento das discussões.

Percebi que eles se surpreenderam com a origem do termo "pilha"⁴¹ e com a relação do episódio com o livro *Frankenstein* de Mary Shelley⁴². Isto foi importante para que os licenciandos percebessem o aspecto sociológico da Ciência, embutido nas discussões do episódio pelo *contexto metacientífico*. Pelo *contexto científico*, os alunos aparentaram interesse pelas relações interdisciplinares que o episódio revelava.

Aula 03 do Bloco 3 – 24/10/2011

Nesta aula, continuei a discussão do Episódio 4 (Oersted e a construção do eletromagnetismo) iniciada na aula anterior. Os licenciandos foram novamente levados ao laboratório e trabalharam com duas reproduções do experimento de Oersted. Na aula anterior, notei que poucos conheciam o experimento e o próprio Oersted.

Os licenciandos realizaram o experimento nos dois aparatos e redigiram um pequeno texto com suas observações. Eles pareceram muito interessados no comportamento da agulha em relação à posição em que é colocado o fio e investiram metade da duração da aula para escrever o texto.

Em seguida, perguntei a eles por que aceitavam a ideia de um campo magnético circular gerado por uma corrente elétrica retilínea. Os licenciandos se mostraram instigados com a questão e refletiram por alguns instantes. Insisti que esta ideia não

⁴¹ Em seus experimentos sobre o tema, Volta literalmente "empilhava" placas de zinco e prata para produzir os efeitos então chamados de galvânicos.

⁴² Na época, a pilha começou a ser utilizada para provocar reações em cadáveres – de humanos e de animais –, o que acabou influenciando Shelley a escrever o livro por volta de 1818.

é intuitiva: não é possível conceber intuitivamente o efeito circular de algo que se movimenta em linha reta.

Após essa discussão, apresentei os conceitos de vetor e pseudovetor (ou vetor axial). Esta parte foi muito produtiva, com a participação efetiva de todos os licenciandos, que buscaram solucionar suas dúvidas e reavaliar suas próprias concepções. Pela aula, notei que os licenciandos perceberam a importância da compreensão deste fenômeno para o entendimento de diversos conceitos físicos, pois embora este seja aparentemente simples, possui nuances muito complexas.

A partir da discussão do episódio pelo *contexto pedagógico*, os licenciandos colocaram diversas sugestões sobre como ele poderia ser trabalhado em sala de aula. Isto corroborou a importância deste viés pedagógico no trabalho com os episódios históricos.

Comentários sobre as aulas

De forma geral, as aulas decorreram de forma tranquila e dentro do esperado. A partir dos resultados dos questionários sobre Natureza da Ciência e sobre História da Ciência aplicados antes da discussão dos episódios, foi possível planejar mais detalhadamente as aulas.

A problematização inicial funcionou como peça chave em todos os episódios. A partir dela, pude conduzir as aulas sempre em um tom instigador e questionador, o que provocou boas reações dos licenciandos. De forma geral, a análise dos episódios a partir dos três contextos da AMHIC foi produtiva, embora a falta de leitura dos materiais pelos licenciandos dificultou enormemente o trabalho no Episódio 2 e no Episódio 3, os quais foram discutidos estritamente a partir dos materiais disponibilizados. Sobre o *contexto pedagógico*, em particular, as discussões foram interessantes e os licenciandos colocaram algumas ideias, no entanto, pelo fato de não estarem confrontados diretamente com a questão de levar estes conteúdos para a sala de aula, o debate não avançou.

A conversa final realizada na última aula da disciplina foi especialmente relevante porque os licenciandos afirmaram que a disciplina e o modo como ela foi ministrada foram interessantes. Muitos apontaram que diversas concepções foram alteradas e que possuíam então uma visão mais clara da Ciência e do processo de construção do conhecimento científico.

5.2.4. O questionário final de avaliação⁴³

O questionário final de avaliação foi aplicado no dia 05 de Dezembro de 2011 e respondido por todos os cinco licenciandos que cursavam a disciplina. O propósito deste questionário foi obter a avaliação dos licenciandos sobre cada um dos contextos da AMHIC, abordados nas questões de forma implícita.

As questões 1 e 2 abordavam implicitamente as vertentes teórica e prática do *contexto científico*:

"Em sua opinião, a discussão de conceitos físicos incluídos nos episódios históricos foi importante para as aulas? Se sim ou se não, explique."

"Em sua opinião, a discussão de alguns aspectos experimentais incluídos nos episódios históricos foi importante para as aulas? Se sim ou se não, explique."

Na resposta da Questão 1, todos os licenciandos consideraram importante a discussão de conceitos científicos presentes nos episódios. Listo abaixo alguns trechos das respostas:

- Licenciando A: *"Sim, pois os conceitos físicos explicados através de uma visão diferente, ou seja, com o auxílio da história da ciência, podem ser*

⁴³ Ver Apêndice 5.

melhor exemplificados. Isso contribuiu para uma visão diferente de "aula", pois a história da ciência deve estar junta aos conceitos de Física ensinados".

- Licenciando B: *"Sim, abordar os episódios históricos sem analisar os conceitos físicos presentes em cada um acaba por diminuir o grau de aprendizado, além de prejudicar a própria análise do episódio".*
- Licenciando C: *"A discussão foi muito importante. Até porque o principal objetivo de se discutir episódios históricos, na minha opinião, é enriquecer a construção do raciocínio de como os conceitos físicos tomaram o corpo atual".*
- Licenciando D: *"Foi extremamente importante o fato de elucidar sobre os conceitos utilizados nos episódios históricos".*
- Licenciando E: *"A discussão de conceitos físicos nos episódios históricos facilita a compreensão do episódio e o torna mais interessante".*

Da mesma forma, nas respostas à Questão 2, todos consideraram pertinente a discussão de aspectos práticos contidos nos episódios históricos. Listo abaixo alguns trechos das respostas:

- Licenciando A: *"Sim, ajudou a enxergar detalhes que apenas a teoria não permite".*
- Licenciando B: *"Sim, muitas vezes torna-se difícil a compreensão de um experimento que contribuiu pra a construção da teoria (como no caso de Oersted) sem que você consiga realizar o mesmo [...]".*
- Licenciando C: *"Sim, muito importante. Muitos aspectos experimentais se mostraram fundamentais para o entendimento de como e por que tais raciocínios e concepções foram adotados por determinados cientistas nas devidas épocas".*
- Licenciando D: *"A utilização de experimentos na contextualização histórica dos episódios facilita seu entendimento".*
- Licenciando E: *"[...] repetir o experimento no laboratório é uma forma de complementar o episódio estudado em sala de aula".*

Analisando as respostas, concluí que os estudantes consideraram de suma importância a presença de conceitos científicos nos episódios, seja se analisados por uma perspectiva prática ou teórica. Muitos respondentes apontaram para o melhor entendimento do episódio que a análise teórica e prática propiciam, além de serem úteis para verificar como foram as posturas dos cientistas diante de situações problema.

Este resultado corroborou a ideia de que o exame de questões científicas abrangidas nos episódios é um elemento importante e motivador, ou seja, o *contexto científico* da AMHIC desempenhou uma função importante no aprendizado sobre os episódios e na própria percepção dos licenciandos sobre a construção do conhecimento científico.

A Questão 3 visou conhecer a avaliação dos licenciandos sobre as questões abordadas por meio do *contexto metacientífico*:

"Em sua opinião, a discussão explícita de aspectos da Natureza da Ciência incluídos nos episódios históricos foi importante para as aulas? Se sim ou se não, explique."

Com isso, pretendia analisar tanto os argumentos sobre o elemento problematizador quanto sobre as questões epistemológicas e sociológicas debatidas ao longo do estudo dos episódios. Listo abaixo alguns trechos das respostas:

- Licenciando A: *"Sim, mas acredito que tanto explicitamente quanto implicitamente a história da ciência tem o intuito de nos fazer pensar".*
- Licenciando B: *"Sim, trabalhar com ciência requer que conheçamos a mesma [...]".*
- Licenciando C: *"Discutir natureza da ciência tem um aspecto libertador, pois quebra paradigmas ao nos fazer refletir sobre "verdades absolutas" e que às vezes se demonstram não tão consistentes assim [...] um fato muito importante durante as aulas dos episódios históricos foi destacar no primeiro e último slide qual aspecto da ciência deveria ser notado com mais atenção".*

- Licenciando D: *"Sim, a maneira abordada dos aspectos da Natureza da Ciência propicia o entendimento do conceito de ciência, fazendo com que nos libertemos do modelo tradicional de compreender ciência".*
- Licenciando E: *"Explicitar os aspectos da natureza da ciência incluídos nos episódios históricos é uma ótima maneira de chamar a atenção para os episódios [...]".*

As respostas indicam que os licenciandos consideraram importante as questões debatidas por meio do *contexto metacientífico*. Em especial, destaco as respostas dos licenciandos C e E, que fizeram referência ao elemento problematizador. Isto reforçou o conceito de que a problematização inicial foi uma etapa importante, que buscou chamar a atenção dos participantes para a discussão dos episódios. Os aspectos da Natureza da Ciência como um problema a ser enfrentado mostraram-se significativos para promover a motivação e o envolvimento nas aulas.

A Questão 4 buscou traçar a opinião dos licenciandos sobre a elaboração do material didático e, incluído nisso, sobre o *contexto pedagógico*:

"Na sua opinião, a elaboração de um material didático utilizando História da Ciência foi relevante para as aulas? Se sim ou se não, explique."

Listo abaixo alguns trechos das respostas:

- Licenciando A: *"Sim, me fez ver de modo diferente como trabalhar com os alunos. Trouxe uma nova perspectiva do que se pode fazer ou trabalhar em uma sala de aula, utilizando argumentação e materiais inovadores".*
- Licenciando B: *"Muito relevante, não somente para as aulas mas também para a formação".*
- Licenciando C: *"Sim, a elaboração do material didático foi um momento sintetizador, onde, depois da bagagem histórica, juntamente com a teórica, tivemos que efetivamente refletir em como abordaríamos da melhor forma todo o conhecimentos para ensinar a alunos do ensino básico determinado tema da física".*

- Licenciando D: "[...] *efetuar a montagem do material fez com que toda aquela bagagem pudesse ser novamente refletida e colocada em prática*".
- Licenciando E: "*Sim, foi relevante pois foi o momento em que tivemos que organizar todo o conhecimento adquirido ao longo das leituras [...]*".

Todos os licenciandos responderam que a elaboração dos materiais didáticos foi importante. De forma geral, os respondentes afirmaram que a construção do material didático foi um momento de sintetizar o conhecimento histórico aprendido e voltá-lo para a sala de aula.

Cabe destacar a resposta do Licenciando A, que no questionário sobre História da Ciência havia respondido negativamente sobre a inclusão de conteúdos históricos no ensino. Percebe-se que sua visão foi modificada pela disciplina, que o fez considerar como uma "nova perspectiva" a História da Ciência. Além disso, a resposta do Licenciando C foi particularmente interessante por mencionar a reflexão sobre como seriam abordados os conteúdos históricos em sala de aula, que era justamente um dos propósitos do *contexto pedagógico*. Entretanto, vale também ressaltar a resposta do licenciando D, que aparenta considerar a atuação em sala de aula como um "colocar em prática a teoria".

A quinta e última questão procurou levantar a opinião geral dos licenciandos sobre a disciplina:

"Na sua opinião, a disciplina "Estudos e Desenvolvimento de Projetos V" foi importante para sua formação profissional e pessoal? Se sim ou se não, explique."

Considereei que esta pergunta era relevante por possibilitar a colocação de percepções mais abertas dos licenciandos, ou seja, a questão funcionou como um relato final e livre. Listo abaixo alguns trechos das respostas:

- Licenciando A: "*A disciplina como um todo trouxe algumas novidades as quais não esperava. A abordagem histórica de alguns conceitos facilitou o*

meu entendimento em conceitos físicos. [...] Posso afirmar que tive um grande crescimento ao trabalhar e aprender sobre História da Ciência".

- Licenciando B: *"Sim, permitiu ver que usar a história da ciência deixa a aula mais interessante [...]"*.
- Licenciando C: *"Importantíssimo. Na física, o que mais me chama atenção é a abordagem conceitual da ciência"*.
- Licenciando D: *"Sim, o modo com os episódios foram desenvolvidos superou boa parte de nossas expectativas"*.
- Licenciando E: *"Através dessa disciplina conseguimos ver e entender como que alguns conceitos fundamentais da física, vistos nas outras disciplinas, foram pensados, trabalhados e também criticados pela sociedade científica de determinada época"*.

As respostas denotam que todos os licenciandos consideraram a disciplina interessante, principalmente por trazer uma abordagem diferenciada da História da Ciência e da própria Ciência. Considerei a avaliação geral muito positiva, o que indicou que a Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC) trouxe efetivamente um novo olhar para os conteúdos históricos na formação de professores.

Comentários sobre o questionário final de avaliação

Como salientado no início dessa seção, o propósito deste questionário era fazer um levantamento das opiniões dos licenciandos sobre os contextos da AMHIC e, de forma geral, sobre como a importância da disciplina para a formação. Os resultados foram positivos, denotando que a abordagem diferenciada da AMHIC possibilitou o estudo dos episódios históricos de forma inovadora.

Atribuo esse resultado positivo da avaliação a dois fatores: o elemento problematizador e os episódios históricos selecionados. Por um lado, a problematização inicial foi capaz de incentivar um questionamento por parte dos licenciandos, ou seja, o conteúdo não foi simplesmente exposto ou *transferido* a

eles, mas tratado como um problema a ser enfrentado, pensado e questionado. É claro que a falta de leitura dos materiais recomendados – comentada na seção anterior – dificultou enormemente o trabalho, mas a inclusão de um problema inicial cumpriu seu propósito de motivar os licenciandos a prestarem mais atenção à discussão e, principalmente, participarem.

Por outro lado, os episódios históricos foram importantes porque traziam elementos diversificados e, principalmente, quase totalmente desconhecidos pelos licenciandos. Muitos já haviam lido ou estudado algo sobre as ideias sobre luz e cores de Newton ou mesmo Huygens, ou ouvido falar dos experimentos de Oersted, mas nenhum havia se debruçado profundamente sobre os assuntos. Sendo assim, os episódios selecionados contribuíram para tornar mais significativas questões aparentemente simples da Física e da Ciência e, como consequência, para promover uma visão mais adequada do processo de construção do conhecimento científico.

5.2.5. Os materiais didáticos

Ao final do semestre, os licenciandos deveriam entregar dois materiais didáticos – um sobre Óptica, outro sobre Eletromagnetismo – em que o propósito era ensinar conceitos físicos utilizando conteúdos históricos. Com isso, esperava-se que os licenciandos mobilizassem seus conhecimentos sobre o viés histórico da Ciência para a sala de aula, conforme as discussões trabalhadas a partir da análise dos episódios históricos pelo *contexto pedagógico*.

Os licenciandos se dividiram em dois grupos. Cada um dos grupos apresentou uma dupla diferente de materiais; enquanto um elaborou apostilas tradicionais, o outro construiu um quiz e um jogo de tabuleiro.

Grupo 1 – licenciandos A e B

Para a Óptica, o grupo optou pela elaboração de um material didático incomum: um quiz eletrônico. O quiz é composto por catorze perguntas e duas opções de resposta. A reprodução de uma destas perguntas pode ser conferida na Figura 14 abaixo.

Figura 14 – Reprodução da tela do quiz eletrônico elaborado pelo Grupo 1.

O objetivo do material didático era utilizar os conteúdos históricos como meio para trabalhar conceitos científicos. O quiz contém perguntas de conteúdo científico e de conteúdo histórico, mas não há uma relação explícita entre eles, tampouco uma sequência lógica de perguntas. O conteúdo histórico aparece no quiz mais como conteúdo que como recurso.

Figura 15 – As perguntas do quiz não se relacionavam entre si.

Outro ponto que chamou a atenção no quiz foi a diferença significativa entre as duas respostas disponíveis, sendo a resposta incorreta com argumentos e termos notavelmente inadequados. Isto poderia induzir o aluno a escolher a resposta que, pela forma como foi escrita, "pareceria mais correta".

Figura 16 – As respostas do quiz poderiam dar dicas sobre qual era a correta.

O quiz não foi acompanhado de um propósito claro sobre como seria utilizado em sala de aula, quais conceitos os alunos deveriam saber, em que momento seria trabalhado etc. Dessa forma, o quiz não se configura como um material propriamente, mas uma atividade. Entretanto, com a melhoria do conteúdo, da forma e dos propósitos do quiz, este pode ser um material interessante em uma proposta de abordagem inovadora de ensinar Física. Embora não tenham articulado de maneira adequada a História da Ciência no material, os licenciandos demonstraram a preocupação de apresentar uma proposta fora do padrão tradicional, no aparente sentido de tornar as aulas mais motivadoras e os alunos mais engajados no estudo dos conteúdos.

O material de Eletromagnetismo foi constituído por um jogo de tabuleiro clássico, com fichas de perguntas e regras para cada uma das casas.

Figura 17 – Reprodução das fichas do jogo de tabuleiro.

Figura 18 – Tabuleiro do material didático de Eletromagnetismo.

Assim como no quiz, o jogo de tabuleiro não relaciona de forma clara o conteúdo histórico com o conteúdo científico, entretanto, neste material as perguntas foram mais bem elaboradas. Embora o grupo não tenha explicitado em que momento o material poderia ser trabalhado, provavelmente ele viria após uma aula tradicional, no sentido de complementar as discussões desenvolvidas.

Contudo, novamente tem-se o caráter inovador trazido pelos licenciandos do grupo. A proposta de trabalhar com um jogo de tabuleiros indica que os licenciandos pensaram em como engajar os estudantes com os conteúdos da Física a partir de atividades lúdicas. Os estudantes, no intuito de serem bem sucedidos no jogo, são levados a articular seus conhecimentos e colocá-los à prova. O licenciando, como professor, pode trabalhar no sentido de facilitar essa articulação, promovendo um processo de ensino e aprendizagem mais dinâmico e trabalhando a História da Ciência como ponto fundamental para a compreensão da Física e da Ciência.

Grupo 2 – licenciandos C, D e E

O grupo 2 preferiu uma abordagem mais tradicional com os materiais, elaborando duas apostilas. Na apostila sobre Óptica, o grupo inicia falando sobre o arco-íris, para então emendar como uma discussão sobre as ideias de Newton e a proposta por ele defendida de que a luz branca seria uma mistura heterogênea de raios coloridos.

Neste capítulo da apostila trataremos do processo de formação de um arco-íris relacionando-o com o famoso experimento de Newton com os prismas. Em seguida, trabalharemos em cima de conceitos fundamentais da óptica moderna tais como espectro eletromagnético, natureza da luz, reflexão, refração, etc. Ao final, traremos uma proposta de experimento com o objetivo de elucidar as discussões realizadas no capítulo.

Arco-íris

Figura 1. Arco-íris.

Um arco-íris é um fenômeno óptico causado pela incidência da luz solar em gotas de chuva. Ao penetrar na superfície da gota, a luz branca do Sol sofre uma refração inicial, nesse instante ocorre o fenômeno que chamamos de dispersão da luz que consiste na separação da onda em várias componentes espectrais com diferentes frequências. Portanto, o feixe de luz branca que atravessa a superfície da gota se separa em feixes de diversas cores que são refletidos pela gota e mais uma vez refratados ao saírem dela. A aparência de arco multicolorido com o vermelho no seu exterior e o violeta em seu interior é justamente devido a essa separação do raio de luz branca em raios de diversas cores, tendo cada cor um diferente grau de refrangibilidade ou índice de refração.

Figura 2. Refração e reflexão de um feixe de luz solar em uma gotícula de água.

Figura 3. Sir Isaac Newton

O físico e matemático Sir Isaac Newton (1643-1727) foi um dos primeiros cientistas a propor que a luz branca seria uma mistura heterogênea de todas as cores. Para chegar as suas conclusões, Newton fez um pequeno orifício na janela de seu quarto escurecido por onde deixou passar uma quantidade conveniente de luz solar, então o feixe de luz branca atravessava um prisma de vidro triangular e atingia perpendicularmente a parede oposta, dessa forma, a luz era refratada produzindo um espectro colorido. Mas para a surpresa de Newton o espectro formado possuía a forma alongada e não circular como esperado por ele, e para explicar esse efeito, Newton assumiu que a luz branca do Sol era uma mistura de raios de diferentes cores que também diferiam em refrangibilidade, ou seja, cada tipo de raio seria refratado em uma direção diferente e seria associado a uma cor diferente: os raios menos refrangíveis são dispostos a exibir a cor vermelha, e os raios mais refrangíveis são dispostos a exibir uma cor violeta.

Para justificar essas afirmações, Newton desenvolveu um experimento que em sua concepção comprovaria toda a veracidade

Figura 4. Uma das variantes do experimentum crucis.

Figura 19 – Trecho do material didático sobre Óptica produzido pelos licenciandos do grupo 2.

Após essa introdução, os licenciandos abordam, em termos gerais, as ideias de Newton, Huygens, Young e Fresnel, na mesma sequência trabalhada em sala de aula. Percebe-se que os licenciandos preferiram pisar em terreno seguro, procurando não fugir das discussões realizadas ao longo das aulas. Ao final, é comentado que a concepção atual para a luz se baseia na dualidade onda-partícula e é citado o trabalho de Einstein sobre o conceito de fóton. Em seguida, o material apresenta uma breve discussão sobre os fenômenos de refração e reflexão, e

sugerem a construção de um disco de Newton para trabalhar a ideia de heterogeneidade da luz branca.

Dizemos que a luz sofre refração quando muda de meio de propagação, modificando sua velocidade de propagação. Se a velocidade de propagação da luz é máxima no vácuo, então em qualquer meio material como, por exemplo, água, vidro, cristal, etc. a velocidade é menor.

A refração, geralmente é acompanhada por um desvio na trajetória original da luz exceto pelo caso em que a luz incide normalmente à superfície de separação entre os meios (ângulo de incidência nulo).

Figura 6. Refração acompanhada de reflexão.

Nos dióptros reais (conjunto formado pelo Meio 1, Meio 2 e superfície de separação S), o fenômeno da refração é sempre acompanhado pelo fenômeno da reflexão da luz. Dessa forma, o raio incidente na superfície S gera dois raios: um refratado e outro refletido. Outra observação importante é que parte da energia incidente em S é absorvida, na qual parcela da energia luminosa incidente é transformada em energia térmica (calor).

O índice de refração absoluto do meio n é definido como sendo a razão entre a velocidade da luz no vácuo c e a velocidade da luz em um dado meio v :

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{Equação 03}$$

$n = 1$, (vácuo)

$n > 1$, (meios materiais)

A partir da definição, temos que quanto maior for o índice de refração absoluto do meio, menor é a velocidade da luz nesse meio.

Atividade proposta – Disco de Newton

Figura 7. Disco de Newton

Na formação do arco-íris e nos experimentos com prismas de Newton vimos que a luz branca é separada em diversas cores ao atravessar determinado meio, seja este uma gotícula de água ou um prisma triangular, mas o fenômeno inverso também pode ocorrer, ou seja, se a luz branca pode ser decomposta também pode ser composta. Podemos observar tal fenômeno através de um experimento simples, o famoso disco de Newton. Neste experimento um disco colorido com as sete cores do arco-íris (espectro da luz visível) quando colocado em rápida rotação adquire coloração branca, o que acontece é que ao entrar em movimento, cada cor do disco de Newton se sobrepõe em nossa

Figura 20 – Trecho do material didático de Óptica em que são discutidos os fenômenos de refração e reflexão e apresentada uma proposta de atividade utilizando o disco de Newton.

Embora apresente uma articulação mais bem construída entre os conteúdos históricos e os conceitos físicos, o material produzido pelo grupo 2 também evidencia uma tendência em considerar a História da Ciência como aspecto

secundário. Isto fica claro ao verificar que os licenciandos não relacionam as discussões sobre os fenômenos de refração e reflexão com a análise das teorias de cientistas como Huygens e Newton realizadas parágrafos antes. Ambas ideias poderiam fomentar uma análise destes fenômenos a partir de uma perspectiva histórica. De forma semelhante ao grupo 1, o material produzido pelo grupo 2 parece não ter um foco definido, como se as discussões tivessem sido colocadas de forma aleatória e sem um propósito claro.

No material de Eletromagnetismo, o estilo de argumentação foi o mesmo. Os licenciandos também preferiram se ater quase exclusivamente nas discussões realizadas em sala de aula. Eles realizam uma introdução sobre os estudos de Eletricidade e Galvanismo anteriores a Oersted.

Introdução

A eletricidade é um estudo que se iniciou na Grécia com o Filósofo e Matemático Tales de Mileto por volta de século VI a.C.. Este estudo está relacionado também ao magnetismo em que, atritando uma resina vegetal fóssil, amarelada e translúcida denominada de âmbar – (fig.01) com tecido e/ou pele de animal, Tales percebeu que daquele processo surgia uma importante propriedade: a capacidade de atrair pequenos fragmentos de palha, pelos, penas, sementes, etc. Posteriormente, no século XVI na Inglaterra, William Gilbert médico da rainha Elizabeth I, descobriu que era possível realizar a mesma experiência de Tales com outros materiais, chegando a graus variados de intensidade. Esse fenômeno foi chamado de elétrica, do grego *elektron*, que significa âmbar, daí o surgimento das palavras elétron e eletricidade.

Figura 01: Âmbar

Até o início do século XIX, os fenômenos relacionados ao que hoje chamamos de eletromagnetismo eram divididos em três áreas distintas da ciência: Eletricidade, Magnetismo e Galvanismo.

A Eletricidade tratava do que hoje podemos distinguir, dentro do eletromagnetismo, como a eletrostática, contudo de uma maneira bem diferente. A natureza da matéria e das cargas elétricas não era ainda consolidada. Imaginava-se a eletricidade como um fluido que existia na natureza e que permeava alguns materiais. Daí a classificação de materiais elétricos e não elétricos. Esta classificação é um grande exemplo de como a ciência é historicamente construída e seus conceitos são mutáveis. Isso porque, até o início do século XIX, os materiais classificados como elétricos eram aqueles que tinham a capacidade de “armazenar” o tal fluido elétrico. Esse armazenamento ocorria pelo atrito. Hoje classificamos estes mesmos materiais como isolantes. Os materiais não elétricos eram os que não possuíam essa capacidade de armazenar eletricidade, hoje classificados como condutores.

O Galvanismo tratava dos fenômenos relacionados à contração dos corpos de alguns animais, que era atribuída à existência de um fluido interno, semelhante à eletricidade.

Figura 21 – Trecho do material de Eletromagnetismo produzido pelos licenciandos do grupo 2.

Em seguida, o material aborda os experimentos desenvolvidos por Oersted e o contexto da descoberta. Os licenciandos citam as divergências entre as descrições de Oersted e Hansteen e terminam abordando as questões de simetria envolvidas no fenômeno. Após esta discussão histórica, os licenciandos partem para uma abordagem tradicional dos conceitos de campo elétrico e magnético, não a relacionando com as discussões anteriores, assim como no material de Óptica.

O final do material didático contém uma discussão sobre a formulação matemática dos conceitos de campo elétrico e magnético. Os licenciandos fazem uma associação entre a equação da força de Lorentz e uma obra de arte, afirmando que, do ponto de vista estético, esta equação deveria ser admirada.

you reflect from the aesthetic point of view, it could be considered a work of art to be contemplated.

$$F = q(E + v \times B)$$

Lorentz

We can understand a little how humanity formulated electromagnetism as we know it today and how it is treated as a model of representation of reality. Beyond this, we reflect on the importance of mathematics as a language of science, awakening even the perception for its aesthetic beauty.

Figura 22 – Final do material didático de Eletromagnetismo, em que os licenciandos fazem uma associação entre a força de Lorentz e uma obra de arte, a representando como se estivesse num quadro.

Os alunos também apresentaram como material complementar a ideia de construir o "Blog do Infinito", que funcionaria como uma plataforma com perfis de cientistas, nos moldes das redes sociais. Segundo os licenciandos, por meio dela, o professor poderia inserir informações sobre a vida e obra dos cientistas, levando ao conhecimento dos alunos suas visões e posturas.

Figura 23 – A proposta do "Blog do Infinito" elaborada pelos licenciandos do grupo 2, em que seriam criados perfis dos cientistas.

Embora tenham trabalhado com um viés mais tradicional de material didático, os licenciandos do grupo 2 apresentaram uma proposta mais próxima ao que foi pedido.

Comentários sobre os materiais didáticos

A proposta do material didático foi fazer com que os licenciandos pensassem em como trabalhar com conteúdos históricos em sala de aula. Embora os resultados mostrem uma ligeira diferença do grupo 2 sobre o grupo 1, ambos não atingiram completamente o objetivo proposto. Isto indica que as discussões do *contexto pedagógico* podem não ter sido suficientes para permitir que os licenciandos canalizassem a formação crítico-transformadora de forma integral para o contexto de ensino. Entretanto, cabe ressaltar que ambos os grupos trouxeram propostas diferenciadas – o quiz, o jogo de tabuleiro e o blog –, em uma clara preocupação em se afastar de abordagens tradicionais de ensino.

No questionário final de avaliação⁴⁴, todos os licenciandos afirmaram que a tarefa de construir o material didático foi importante na disciplina. Percebo que estes argumentos se encaixam com os materiais apresentados, uma vez que os licenciandos tiveram o cuidado de trabalhar adequadamente os conteúdos históricos, mesmo que tenham explicitamente reproduzido muitas das discussões realizadas em sala de aula. Contudo, nota-se que os licenciandos não se planejaram adequadamente, pois muitos parágrafos não foram bem escritos e muitas ideias estão colocadas de forma obscura.

A partir dessas considerações, é possível concluir que o *contexto pedagógico* desempenhou um papel importante, uma vez que os licenciandos foram instigados a pensar sobre como trabalhar com conteúdos históricos em sala de aula. No entanto, faltou aprofundamento nas discussões, pois mesmo as atividades realizadas ao final da disciplina, no Bloco 4, aparentemente não foram suficientes para que os licenciandos realizassem um trabalho mais adequado e mais próximo do que foi pedido. Isto indica que o *contexto pedagógico* deve ocupar mais momentos ao longo do desenvolvimento das atividades, proporcionando, assim uma mobilização mais efetiva da formação crítico-transformadora para o contexto da sala de aula.

5.2.6. As entrevistas com os licenciandos⁴⁵

As entrevistas com os licenciandos tiveram como objetivo novamente avaliar o modo como a Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC) foi trabalhada e, da mesma forma, levantar indícios do desenvolvimento de elementos da formação crítico-transformadora. A aplicação seis meses depois foi importante

⁴⁴ Ver seção 5.2.4.

⁴⁵ Ver Apêndice 6.

para que fosse obtido um efeito residual da aplicação da AMHIC, ou seja, de evitar que os licenciandos respondessem influenciados pelo calor recente da disciplina. Participaram das entrevistas os licenciandos A, C e E⁴⁶. Ao longo da análise, citaremos alguns trechos das respostas dos licenciandos.

Cada questão da entrevista pertencia a um grupo que tinha propósitos diferentes. As questões de 1 a 5 tiveram a finalidade de avaliar a AMHIC, sua condução e sua estrutura. A Questão 6 buscou averiguar a concepção do licenciando sobre seu próprio senso crítico. As questões de 7 a 12 buscaram avaliar traços ou indícios de que elementos da formação crítico-transformadora foram desenvolvidos com a AMHIC. A Questão 13 procurou captar impressões gerais dos licenciandos. Nas apresentações abaixo, discutirei mais detalhadamente as respostas dos licenciandos para cada uma das questões da entrevista.

Embora algumas questões da entrevista examinaram aspectos da formação crítico-transformadora, a meta não foi categorizar os indivíduos em mais ou menos crítico-transformadores. Para isso, seria necessário um conjunto complementar de dados e, sobretudo, um aporte teórico específico para a elaboração de categorias. Com apenas algumas perguntas, é claro que não é possível garantir que o licenciando desenvolveu essa formação por completo. Com as respostas a estas questões específicas, a finalidade foi levantar indícios de que se desenvolveram como crítico-transformadores, balizando a hipótese deste trabalho, que esta formação é possível a partir de uma abordagem contextualizada da História da Ciência.

A Questão 1 da entrevista teve como propósito obter de imediato o aspecto mais marcante da disciplina na opinião do respondente. Essa pergunta logo no começo da entrevista faria com que o aluno não tivesse tempo para pensar ou fabricar uma

⁴⁶ Por conta da greve das universidades federais ocorrida em meados de 2012, não foi possível o contato com os licenciandos B e D.

resposta, ou seja, queria uma resposta espontânea, procurando garantir que o licenciando respondesse realmente o que mais marcou na disciplina para ele:

Seis meses depois do fim de EPD V, o que você pode dizer que mais marcou na disciplina?

Nas respostas obtidas, dois licenciandos abordaram um novo olhar sobre a História da Ciência, afirmando que EDP V influenciou no sentido de gostarem mais dessa área.

Bom... o que mais me marcou foi uma nova percepção... que eu tive sobre história da ciência, através do estudo dos episódios históricos, foi uma maneira, assim, de estudar ciência que eu não conhecia até então. (Licenciando C)

Nas disciplinas desse semestre, a gente tá utilizando, eu pelo menos utilizei história da ciência na aula, no plano de aula que a gente teve que preparar pra [nome da professora]. Ela passou aquelas abordagens todas lá, CTS, história da ciência, resolução de problemas, e pediu pra que a gente escolhesse um dos temas e montasse um plano de aula voltado pra essa abordagem. Eu escolhi história da ciência. Por causa de EDP mesmo, que eu gostei. (Licenciando E)

O Licenciando A apontou como aspecto mais relevante a escolha do material didático, dizendo que esta tarefa foi interessante por desenvolver a criatividade dos envolvidos, sendo uma atividade muito produtiva.

A gente teve que buscar fontes, teve que ler as coisas, a gente teve que usar a criatividade também, que é uma coisa que envolve bastante a área de ciências, usar a criatividade. Acho que isso foi o que mais marcou mesmo, a elaboração desse material didático. (Licenciando A)

As três respostas indicam que a abordagem foi relevante no sentido de trazer outra perspectiva à História da Ciência, o que era um de seus objetivos. A menção sobre o material didático foi uma boa surpresa, mas até certo ponto esperada. A tarefa de elaborar um material didático representou um ponto chave na abordagem, no sentido de ser o ponto de convergência das atividades envolvendo o *contexto pedagógico*. A indicação por parte do licenciando de que a elaboração do material didático foi o que mais marcou aponta para a relevância que este tipo de tarefa pode

ter quando se aborda a História da Ciência na formação de professores. O licenciando mostrou-se realmente motivado em elaborar o material, uma tarefa mencionada como "bem produtiva". Mesmo que, no material propriamente, os licenciandos não cumpriram completamente os objetivos propostos, é notável que eles consideraram a elaboração dos materiais uma etapa relevante na disciplina.

Para a Questão 2, o intuito foi verificar a opinião geral dos licenciandos sobre a forma como a disciplina foi trabalhada, procurando notar diferenças entre ela e outras que privilegiam somente aulas expositivas ou no estilo "leia o texto em casa / discuta sobre ele em sala de aula":

Como você avalia o modo como a disciplina foi ministrada?

Para essa pergunta, observei dois pontos de vista diferentes em três respostas. No primeiro deles, o Licenciando C afirmou que a abordagem foi excelente por mostrar como os conceitos científicos envolvidos no episódio foram construídos. O licenciando citou perguntas que o professor fazia em sala de aula, com o intuito de provocar uma reflexão por parte da sala. Isto denotou novamente a relevância do elemento problematizador. Nessa resposta, percebi que o licenciando teve uma tendência em enfatizar aspectos componentes do *contexto metacientífico*, mais ligados à produção e funcionamento do conhecimento científico.

[...] essa abordagem de episódio histórico como essa, te faz assim, focar, refletir realmente em questões que foram base de construção dos conceitos [...] a maneira que você falava também, pegando os pontos específicos importantes. Aquele questionamento que você fez, você repetia a pergunta durante a aula: "como uma corrente elétrica passando numa direção pode provocar ações em outro plano, e de características circulares" [o licenciando está se referindo ao Episódio 4), sabe, são umas reflexões chave assim, então eu acho que isso daí, além de contextualizar o que você tá aprendendo, de você absorver cultura e tudo, é efetivamente, é, de grande contribuição pra você entender o próprio conceito ali [...].
(Licenciando C)

De outro ponto de vista, notei a referência às áreas dos episódios históricos trabalhadas na disciplina: Óptica e Eletromagnetismo. Um dos licenciandos afirmou que gostou das áreas trabalhadas, principalmente as atividades realizadas no

laboratório, uma referência à boa receptividade da vertente prática do *contexto científico*.

Eu gostei porque a gente trabalhou com episódios de eletromagnetismo e óptica né. E a gente foi para o laboratório, essa parte que eu gostei mais. (Licenciando E)

O Licenciando A, por sua vez, afirmou que a ênfase nestas duas áreas particulares foi o ponto fraco da disciplina, que, em sua opinião, deveria ter englobado mais áreas da Física.

Não teve um englobamento de toda a física, sabe? Acho que se tivesse mais visões, mais coisas da física interagindo, acho que seria legal. [...] Eu mudei bastante minha visão depois dessa experiência, porque eu detestava as matérias pedagógicas e as matérias voltadas pra esse lado pedagógico [...]. (Licenciando A)

De modo geral, os licenciandos C e E comentaram sobre a abordagem e o licenciando A mais sobre o conteúdo. Considerando então apenas as duas primeiras, pude notar que os licenciandos consideraram bom o modo como a disciplina foi ministrada, mas não obtive menções sobre uma eventual comparação com outras disciplinas. Novamente destaco a resposta do Licenciando A, que no início da disciplina, demonstrou não ter afinidade com História da Ciência e que, após EDP V, apresentou uma mudança de opinião.

A Questão 3 teve o objetivo de obter uma resposta mais específica dos licenciandos sobre os três contextos da AMHIC. Ao longo de uma entrevista, foi necessário refazer a pergunta com outras palavras ou fazer outras perguntas complementares, pois um dos licenciandos não conseguiu entender a referência a aspectos pedagógicos no episódio. A reformulação da pergunta foi feita de imediato:

Como você avalia o modo como os episódios históricos foram discutidos, levando em conta questões científicas, epistemológicas e pedagógicas?

Nas respostas, observei um destaque maior aos aspectos metacientíficos por parte do Licenciando C e outro destaque aos conteúdos pelos outros dois licenciandos.

Porque realmente você refletir sobre a natureza da ciência e aquela coisa assim, como você define cada conceito assim né. (Licenciando C)

Eu achei que ele cumpriu seu propósito. (Licenciando A)

A gente viu como é que foi desenvolvido as ideias, a gente fez os mesmos testes lá no laboratório, a gente seguiu a linha de raciocínio dos cientistas, digamos assim. Gostei bastante. (Licenciando E)

Embora não tenha obtido respostas muito detalhadas, optei por não desmembrar esta pergunta em muitas outras para não forçar o licenciando a dar uma resposta pronta. Em outras palavras, poderia ter oferecido exemplos de como os episódios históricos foram discutidos a partir dos três contextos (científico, metacientífico e pedagógico), mas acredito que isto seria evidenciar ao respondente o tipo de resposta que gostaria de obter. Sendo assim, preferi apenas reformular a pergunta principal, quando foi o caso, ou mesmo registrar a resposta direta à pergunta original.

Em geral, posso dizer que os três licenciandos avaliaram como bom o estudo dos episódios por meio dos três contextos, embora não possa com os dados obtidos apontar com detalhes suas percepções.

O propósito da quarta questão foi complementar o Questionário sobre História da Ciência, respondido pelos licenciandos no início do semestre⁴⁷, no sentido de verificar se a relação dos licenciandos com a História da Ciência se alterou. Naquele questionário, o licenciando deveria apontar se utilizaria ou não História da Ciência e como trabalharia com esses conteúdos caso fosse solicitado.

⁴⁷ Versão seção 5.2.2 e Apêndice 4.

Em relação a sua afinidade com História da Ciência, como você avalia sua aptidão para trabalhar com conteúdos históricos em sala de aula?

De forma geral, os licenciandos demonstraram um amadurecimento em sua relação com a História da Ciência. No questionário sobre História da Ciência, grande parte deles enfatizou a ideia de contextualização, sem oferecer pistas sobre como isto se daria em sala de aula. Na resposta a esta pergunta, há um claro indício de que os licenciandos sentem-se mais aptos a trabalhar com História da Ciência, sabendo buscar boas fontes e analisá-las em detalhes.

[...] a história da ciência é um algo diferente que posso fazer dentro da sala, porque eles [alunos de ensino médio] estão acostumados só com dar fórmula e fazer exercícios [...]. Antigamente eu não tinha nem noção, pra mim história da ciência era enrolar na aula. Dar um texto quando um professor não queria dar aula, era essa minha visão. Mudou completamente. (Licenciando A)

[...] eu acho que a gente, nos dois EDPs, tanto o 4 quanto o 5, que foram voltados para a história da ciência, acho que a gente conseguiu fazer tudo bem feito. Fazer um trabalho legal em EDP 4. E no EDP 5 a proposta do material didático, acho que também ficou interessante, a gente conseguiu captar a ideia lá, eu consegui entender o que seria um material didático da história da ciência. E também durante as aulas, é, em EDP V, nos episódios históricos... conseguia conectar, acompanhar os raciocínios. Então acho que... se fosse pra se considerar habilitado pra trabalhar com história da ciência, eu digo que sim. (Licenciando C)

Hoje eu me sinto mais maduro. Dá pra buscar as fontes primárias já, seguir, estudar, leitura já mais fácil. (Licenciando E)

Vale mencionar especificamente o caso do Licenciando A. No questionário sobre História da Ciência, o licenciando respondeu que não considerava a História da Ciência como importante para o ensino, sendo uma disciplina de contextualização e não parte da Física. Na entrevista, porém, o licenciando afirmou que sua relação

com a História da Ciência foi transformada pelas disciplinas EDP V e IV⁴⁸ e que utilizaria em sala de aula, se considerando apto.

Estes pontos fornecem evidências de o conjunto de disciplinas EDP IV e V foi efetivo em alterar a percepção dos licenciandos sobre a História da Ciência e sobre sua utilização em sala de aula. Claramente, não é possível afirmar exatamente se o futuro professor fará um uso adequado ou não dos conteúdos históricos, mas concluo que sua afinidade com a área mudou, no sentido de que eles se sentem mais preparados para trabalhar com ela em suas futuras atividades como docentes.

A Questão 5 teve como objetivo obter a opinião dos licenciandos especificamente sobre a elaboração do material didático, o principal elemento e produto do *contexto pedagógico*. A construção do material didático foi um dos pontos principais da disciplina EDP V e contou como avaliação, por isso, previa que esta tarefa teria ficado muito marcada para os licenciandos:

Como você avalia a tarefa de ter elaborado um material didático?

Todos os respondentes confirmaram a expectativa de que a realização do material didático seria uma atividade chamativa e interessante para eles. Destaca-se nas respostas a menção ao trabalho de pesquisa e leitura que a tarefa exigiu. Os licenciandos capturaram a ideia de pensar sobre o material e sobre a sala de aula.

Eu achei bem interessante. Eu achei legal também, porque a gente procurar ferramentas onde quase não tem. A gente procurar, a gente planejar o que a gente quer fazer. Isso em mãos é legal, porque a gente buscando isso, a gente consegue enfrentar uma sala com uma qualidade excelente. O que a maioria dos professores não procura. (Licenciando A)

⁴⁸ Embora EDP IV tenha sido cursada antes do aluno responder o questionário sobre História da Ciência – e, portanto, não ter aparentemente influenciado em sua opinião sobre os conteúdos históricos – considere que aqui ele se refere ao bloco formado por EDP V e IV. Acredito que EDP V tenha favorecido um processo de reconhecimento do aprendizado de EDP IV, ainda não significativo para o licenciando na época do questionário sobre História da Ciência.

Porque pelo menos o exercício que a gente fez, a maneira que eu tava pensando quando tava fazendo é como é que eu vou ensinar aquele conceito ali de eletromagnetismo, qual a melhor maneira de ensinar ele. E aí parece que a abordagem histórica, ela entra naturalmente. Então, assim, por isso que eu achei interessante. (Licenciando C)

A gente tem que trabalhar com história da ciência, só que assim, tem que ter cuidado pra não passar um conceito que já tá obsoleto, digamos assim. Tem que ter todos esses cuidados, requer bastante trabalho. (Licenciando E)

Novamente, ênfase a resposta do Licenciando A, que afirmou que o trabalho teve como consequência um amadurecimento, o que considerou muito importante.

As respostas positivas em relação à elaboração do material didático indicam que esta tarefa – e o *contexto pedagógico* como um todo – desempenharam um papel importante no trabalho com os episódios históricos. Isso ressalta o argumento de que a abordagem histórica para professores em formação deve levar em conta questões pedagógicas, no intuito de favorecer um diálogo mais próximo entre o licenciando e a História da Ciência, promovendo uma formação crítico-transformadora.

A Questão 6 teve a finalidade de levantar a concepção espontânea dos licenciandos sobre seu senso crítico. A partir disso, procurei verificar se os próprios licenciandos se consideraram indivíduos críticos e, a partir de questões complementares, levantar as razões para isso. Prefiro não utilizar o termo "crítico-transformador" na questão por não ser familiar aos licenciandos:

Você se considera um indivíduo que tem senso crítico?

Todos os respondentes afirmaram que têm senso crítico, derivado principalmente da leitura e estudo. Um aspecto interessante de duas respostas foi a definição de senso crítico: ter uma opinião embasada sobre algo, ter a capacidade de argumentar.

Então o senso crítico ele tá envolvido com isso. Você ter a capacidade de argumentar sobre aquilo e conseguir, é, não tornar certo, mas conseguir ter

uma argumentação lógica, ter uma argumentação a respeito daquilo, você ser capaz de discutir mesmo, um assunto. (Licenciando A)

Bom, eu... me considero sim uma pessoa com senso crítico. Os motivos, bom, é porque... você ter um senso crítico e ter uma opinião, assim, é... que não esteja situada no senso comum, acho que vem da gente estar sempre estudando, sempre lendo. (Licenciando C)

Sim. Na medida do desenvolvimento do curso, das matérias. Quando eu entrei na faculdade, acho que bem pouco. Agora a gente vai estudando, vai lendo bastante, vai vendo... (Licenciando E)

Isso indicou que os licenciandos estão cientes de que ser crítico é ser capaz de se posicionar de forma coerente e bem fundamentada sobre algo, o que reflete diretamente com a concepção de formação crítico-transformadora defendida neste trabalho. Para estes dois licenciandos (A e C), foi necessário se valer de perguntas auxiliares, no sentido de explorar suas respostas.

A resposta positiva sobre o senso crítico de cada um foi importante para determinarmos com as questões que viriam se esta criticidade foi aprimorada ou incentivada pelas atividades desenvolvidas em EDP V e, principalmente, se tornou-se uma criticidade transformadora, no sentido trabalhado por Giroux (1992). Sendo assim, essa questão foi importante para termos um panorama geral antes de explorarmos cada aspecto da formação crítico-transformadora aqui defendida com as questões posteriores.

A Questão 7 fez referência ao primeiro aspecto da formação crítico-transformadora: o diálogo crítico com o mundo. Com este estilo de pergunta, buscamos não forçar uma resposta do aluno, mas deixar que ele estabelecesse uma relação entre EDP V e sua percepção crítica, caso tenha existido:

Como você avalia a contribuição de EDP V no seu posicionamento diante de questões relacionadas à Física e à Educação?

Nas respostas a essa questão, dois licenciandos afirmaram que EDP V ajudou a ver questões ligadas à Física e à Educação com outros olhos, seja no sentido de enxergar a complexidade da construção da ciência (C), seja no sentido de não ser

excessivamente pragmático (A). O Licenciando E mencionou apenas a contribuição de EDP V para tornar as aulas do ensino médio mais interessantes.

Eu acho que a maior contribuição foi voltada para esse... a não ter um foco fixo, a poder abrir os olhos. Eu posso concordar ou não com aquela opinião. Mas eu posso saber por onde eu to concordando, o que que eu to fazendo, sabe? (Licenciando A)

Porque pra gente ver como é complexa a construção dos conceitos. Quando a gente estudou os episódios históricos, viu questões da natureza da ciência, de você construir os conceitos da física requer tempo, é... as coisas não são imutáveis... as coisas se transformam, só que essa transformação não é bagunçada, né, não quer dizer que, também, as coisas se modificam... a ideia que a gente tem sobre a natureza, a ideia que a gente tem sobre o mundo, ela se modifica. (Licenciando C)

No sentido de tornar essa aula para o ensino médio mais interessante, assim. Trabalhar os conceitos, as ideias, não focar... matemática é importante, mas trabalhar mais com o desenvolvimento dos conceitos. (Licenciando E)

As respostas indicam que EDP V contribuiu para a construção de um diálogo crítico com o mundo, tanto em relação à Física quanto à Educação. A expectativa de que EDP V contribuísse para que os licenciandos compreendessem e se posicionassem as nuances da Ciência e as questões da Educação se confirmou por suas respostas. Embora a resposta (e o questionário) não permita definir como exatamente o licenciando se posicionaria, há elementos suficientes para afirmar que EDP V (e a AMHIC) conseguiram promover uma visão mais abrangente da Física e da Educação aos licenciandos.

A Questão 8 tem relação com o segundo aspecto da formação crítico-transformadora: entender seu papel de formador. Procurei verificar se os licenciandos consideraram que EDP V despertou neles a percepção de que ao final da graduação eles serão formados professores:

Como você avalia a contribuição de EDP V para a sua percepção de que será um educador?

Nas respostas, os três licenciandos afirmaram que se sentiam mais preparados para atuarem como docentes, o que ressalta que o *contexto pedagógico* provavelmente desempenhou um papel essencial na assimilação de saberes didático-pedagógicos para trabalhar com conteúdos históricos em sala de aula. Dois licenciandos (A e C) comentaram sobre a mudança de percepção em relação à história da ciência e à própria ciência, o que indica que a AMHIC também foi capaz de trazer ao licenciando uma nova visão sobre o conhecimento científico e sobre como ensiná-lo.

Essa é difícil... [longa pausa]... Contribuição teve, mas... deixa eu pensar direitinho... Porque eu mesmo já era para aquele lado, voltado pra fórmula, exercício... e eu aprendendo um pouco sobre história da ciência, sobre filosofia da ciência, fez eu ver que a ciência não é um processo mecânico. Então acho que isso, eu mudei essa percepção, eu acho que consegui tentar fazer com que os alunos vejam diferentemente. (Licenciando A)

Olha... é... contribuiu ((incomp)) fixando a ideia sobre a importância da história da ciência e da natureza da ciência. Você vai ensinar física, vai ensinar ciência, você tem que, até antes de tudo, despertar nos alunos, é, as questões, os aspectos da natureza da ciência. (Licenciando C)

Eu me sinto melhor preparado pra ir pra sala de aula. Tornar, digamos, o ensino, assim, mais viável. Facilitar o aprendizado. Pra escolher os materiais, montar e planejar sua aula, ajudou bastante. (Licenciando E)

Pelas respostas, é possível notar uma postura de crítico-transformador nos licenciandos. A intenção de "fazer com que os alunos vejam diferentemente", de "despertar" nos alunos uma outra percepção da Ciência e "facilitar o aprendizado" denotam que os licenciandos não só percebem a importância da abordagem histórica, mas também a relevância de utilizá-la no ensino e aprendizagem de Ciência e Física. Claramente, a simples afirmação dos licenciandos de que se sentem mais preparados não pressupõe que eles efetivamente estejam. A análise desta questão demandaria outros elementos dos quais esta pesquisa não aborda. Entretanto, a menção espontânea de que estão mais capacitados a atuarem como docentes é válida, à medida que entendo que o licenciando está ciente de suas limitações, da importância do planejamento de aulas e da estrutura complexa da Ciência, portanto, assumindo uma postura crítico-transformadora.

A Questão 9 fez referência ao terceiro aspecto da formação crítica: a construção de um diálogo com outras áreas da Ciência e do conhecimento. Ao longo da discussão dos episódios históricos, foram levantados temas interdisciplinares, dentro da própria ciência e relacionados à ciência e outras áreas do conhecimento, tais como história e filosofia. A expectativa era que os licenciandos tivessem percebido essas relações:

Como você avalia a contribuição de EDP V para a construção de um diálogo entre a Física e outras áreas da Ciência?

Dois licenciandos (A e E) mencionaram uma relação interdisciplinar com outras áreas da Ciência e um deles (C) mencionou especialmente uma relação com a Filosofia e a História.

Volta é um exemplo que dá pra trabalhar com Física e Química, porque lá trabalha a pilha e a pilha que é um conceito que a gente aprende em química, mas é um conceito puramente físico. (Licenciando A)

[...] fica claro pra gente a importância de você saber física, saber ciência, não só pra nós, como pra todos. Muda até a percepção quando você vai estudar filosofia, ou quando você vai estudar alguma coisa de história. (Licenciando C)

[...] na física não é diferente, a gente trabalha com química, biologia, iniciação científica, nas disciplinas tudo. Acho que não só o EDP V como as outras matérias facilitou bastante esse diálogo, a gente não estranha mais. (Licenciando E)

A partir das respostas, é factível concluir que os licenciandos foram capazes de reconhecer a existência de relações interdisciplinares a partir do estudo dos episódios. Destaco a menção ao Episódio 3, que traz especialmente uma abordagem interdisciplinar, no que diz respeito à interação entre conhecimentos de Física, Química e Biologia envolvidos nas ideias de Galvani e Volta.

A Questão 10 tratou do quarto aspecto da formação crítica: o entendimento da Física como conhecimento construído historicamente. Esta questão procurou verificar se os licenciandos conseguiram entender que a Física não é um

conhecimento pragmático, consequência de *insights* e imutável a partir das discussões dos episódios históricos:

Como você avalia a contribuição de EDP V para o entendimento da Física como conhecimento construído historicamente?

A expectativa era que todos os licenciandos respondessem positivamente, o que de fato ocorreu.

A física, todo mundo acha que é um conceito que veio, que vai e pronto. E não é. O aluno [de ensino médio] precisa disso. Eu acho que isso, falta na verdade nos professores. Então essa matéria, ela serviu, pelo menos pra mim, pra isso. Pra quebrar essa visão de que a física é o que tá lá pronta. (Licenciando A)

Contribuiu pelos episódios históricos, principalmente. Porque você vê lá, é... surge ali como... como a ciência é realmente construída, tem ali vários momentos, assim, construído como a cultura é. (Licenciando C)

Acho que com EDP, ficou bem claro esse negócio, que na Física as ideias são construídas, a ciência é influenciada pelo meio. (Licenciando E)

As respostas à Questão 10 denotam que os licenciandos foram capazes de compreender a Ciência e a Física como conhecimentos parte da História e da Cultura. Realço a resposta do Licenciando A, que novamente mostrou claros indícios de que sua percepção sobre Ciência, Física e História da Ciência foi transformada a partir de EDP V. Nota-se, também, um desejo no licenciando de levar a ideia de que a Física não é um conhecimento acabado aos alunos de ensino médio. Este aspecto transparece um desenvolvimento de uma formação crítico-transformadora no licenciando. Sobressai também a resposta do Licenciando C, que associou a Física como um conhecimento construído como a Cultura é, sendo então, uma construção humana.

A Questão 11 tratou do quinto aspecto da formação crítica: tornar o ensino de Física mais dinâmico e menos pragmático:

Como você avalia a contribuição de EDP V na integração dos conhecimentos da Física com os conhecimentos pedagógicos?

As respostas confirmaram a suposição de que os licenciandos comentariam sobre a importância da preparação das aulas e do valor que o conteúdo histórico pode ter para uma abordagem diferenciada da Física em sala de aula.

Eu acho que isso pode ser o que tá faltando nas aulas de física, porque a maioria dos alunos é desinteressado. Porque é oito ou oitenta, ou você gosta de física ou você detesta. Então talvez isso aí seja uma ferramenta pra você chamar os alunos que detestam. Um lado interessante da física. Ninguém é obrigado a gostar só de conta. É um jeito diferente de você ensinar física. (Licenciando A)

Tudo que eu aprendi em EDP V, pra mim dá corpo, é, de como eu realmente iria ensinar física [...] Então, os trabalhos que a gente fazia em EDP V, como o material didático, não era feito da maneira assim, como eu fazer esse trabalho pra EDP V, como eu atender os critérios de avaliação de EDP V, sabe? Foi feito de maneira, assim, como se eu fosse amanhã dar uma aula, no estágio, por exemplo, de eletromagnetismo ou de óptica, que foram os temas mais abordados, como que eu iria ensinar. (Licenciando C)

No EDP IV e V, a gente consegue... a gente poder, por exemplo, planejar uma aula fica muito mais fácil, a gente consegue escolher um material bom, não se restringe ao livro didático, assim. Acho que contribuí muito pra uma aula melhor. (Licenciando E)

A citação sobre o material didático pelo Licenciando C indica que a tarefa de elaborá-lo cumpriu um de seus papéis dentro do *contexto pedagógico*: fazer com que o futuro professor pensasse na sala de aula.

A Questão 12 buscou trabalhar explicitamente a ideia de professor crítico. Sendo assim, ela funcionou como um complemento à Questão 6, sobre o senso crítico do licenciando:

Você acredita que EDP V contribuiu para torná-lo um professor mais crítico?

Pelas respostas, foi possível notar que os licenciandos não só desenvolveram uma percepção mais crítica – e, principalmente, crítico-transformadora –, como também essas se relacionam com a concepção defendida neste trabalho.

Sim, com certeza. Porque, como eu já disse, a visão que você tem de uma coisa, ela não é única. E trabalhando esses conceitos na cabeça da gente, isso faz com que o pensamento crítico aumente. Você ser capaz de discernir sobre um assunto, saber se aquilo está dentro do esperado, é o que você imagina. (Licenciando A)

A gente chegou a analisar materiais didáticos que são muito tradicionais, e verificar alguns aspectos de natureza da ciência e de história da ciência que não tavam apropriados. E realmente você via que não tá apropriado, não era uma questão relativa assim. Então, assim, deu pra construir um olhar crítico. (Licenciando C)

A gente poder avaliar, poder ler, fazer uma crítica, se concorda, se acha um absurdo, não aceitar por aceitar. Discutir, saber por que é assim, se posicionar. (Licenciando E)

A última questão buscou levantar, por meio de uma pergunta aberta, opiniões gerais dos licenciandos sobre a disciplina e sua relevância para a formação:

De forma geral, você considera que EDP V foi uma disciplina relevante em sua formação como professor de Física?

Com isso, pretendeu-se verificar se a AMHIC conseguiu trazer uma nova visão da História da Ciência, da Ciência e da Física, mais especificamente.

Porque história da ciência né... que eu vi em EDP V e EDP IV, mas principalmente em EDP V. Ela me dá ferramentas novas, didáticas, pra eu lecionar, ela consegue fazer com que eu tenha uma visão diferente do que eu tinha de ciência. Isso é o que o professor precisa pra conseguir entrar na sala de aula e convencer os alunos de que ciência é importante, então dois pontos muito importantes. Outro ponto importante, estudar a física de uma forma diferente. (Licenciando A)

Considero. Foi muito relevante. Pra mim foi uma das melhores disciplinas que eu tive. (Licenciando C)

Então... até então a gente não tinha trabalhado desse jeito. A gente só pega lá um Moysés, o Halliday, estuda a teoria do jeito que tá lá, a gente não estuda nem os grande cientistas. A teoria de tal cientista... parou aí... se a gente quiser saber mais sobre o cientistas, se vira, pesquisa. Se a gente continuasse nesse ritmo, a gente sairia daqui formado sem ter muitas ideias sobre esses cientistas, sobre a vida dele, sobre o trabalho deles. Acho que contribuiu nesse sentido, como um complemento muito importante para o

curso, mesmo. A partir de agora, tudo que a gente vê aí nas disciplinas, dos cientistas, das teorias, a gente tem acho que condição pra poder procurar, com qualidade, esses materiais e estudar e poder aprofundar, por nossa própria conta. (Licenciando E)

A partir das respostas, é possível concluir que os licenciandos consideraram a disciplina relevante para a formação e, principalmente, que a disciplina trouxe um novo conjunto de saberes, de posturas e de questionamentos que eles avaliaram como fundamentais. Isto ressalta que a Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC) foi importante para que os licenciandos transformassem suas concepções, percebendo as diversas possibilidades que uma abordagem histórica pode trazer ao ensino de conceitos científicos.

Comentários sobre a entrevista

As entrevistas realizadas com os licenciandos cerca de seis meses após o fim de EDP V contribuíram para demonstrar a efetividade que a Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC) teve no sentido de trazer um olhar diferenciado, desenvolvendo o caráter histórico do conhecimento científico, para um curso de formação de professores.

Ao longo das entrevistas, não percebi qualquer indício de que os licenciandos respondiam às questões forçadamente ou procurando fazer "certo". Eles estavam à vontade e responderam com naturalidade. Claramente, um fato que pesou e que deve ser levado em consideração em etapas futuras foi a entrevista ser realizada com o mesmo docente da disciplina. Isto, talvez, tenha provocado um receio em colocar opiniões mais abertas. Contudo, observo novamente: nenhum dos licenciandos se mostrou incomodado nas entrevistas.

Pude perceber que houve mudanças de concepções por parte dos licenciandos e o aprimoramento de elementos de uma formação crítico-transformadora. Os licenciandos se mostraram mais confiantes para realizar mudanças, para terem uma postura crítica. A investigação sobre a real transformação do discurso em prática e a

delimitação de categorias para a formação crítico-transformadora, contudo, é tema para outro trabalho.

CONCLUSÃO – OS ASPECTOS GERAIS DO TRABALHO E AS PERSPECTIVAS FUTURAS

Este foi um trabalho movido por inquietações. As inquietações geraram perguntas, cujas respostas vieram no sentido de satisfazer uma curiosidade crescente sobre o que é uma formação crítico-transformadora, por que ela é importante e como promovê-la a partir do estudo da História da Ciência. Contudo, é certo que nem todas as respostas foram suficientes para tornar este um trabalho acabado.

Paulo Freire disse, em seu *Pedagogia da Autonomia*, que um dos saberes necessários à docência é a consciência do inacabamento, de que onde há algo inacabado, há vida. Percebo, assim, que o inacabamento deste trabalho não indica sua deficiência, mas aponta para um universo de possibilidades que dele pode surgir. Significa, portanto, que a abordagem proposta não se encerra nessas páginas, mas pode ser trabalhada a fim de consolidar um novo conjunto de ideias para a formação de professores de Física.

A formação crítico-transformadora procura desenvolver nos futuros professores de Física elementos que os tornem não meros servos de pedagogias gerenciais e da Educação como mercado, mas seres conscientes de seus papéis histórico-sociais e de sua importância como intelectuais transformadores. A busca por uma educação libertadora, que entenda a Física como elemento cultural, deve ser o cerne da formação de professores, balizada por uma formação crítico-transformadora.

O professor, como ser histórico-social, pode desenvolver a formação crítico-transformadora a partir do estudo da História da Ciência. Por meio dela, é possível conhecer melhor as questões envolvendo a construção da Ciência, suas características internas e as influências de e sobre os cientistas, colocando os futuros professores como partícipes desses processos. A consciência disso leva não só a uma atitude mais crítica sobre a Ciência, mas também a uma atitude transformadora, visto que o professor se vê como parte integrante.

A Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC) busca ser um caminho para trabalhar com o viés histórico da Ciência na formação de professores de Física, com a finalidade de promover uma formação crítico-transformadora. Em uma aplicação piloto, a AMHIC foi utilizada na disciplina "Estudos e Desenvolvimento de Projetos V", do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM).

Os resultados dessa aplicação piloto da AMHIC indicam que a abordagem trouxe uma nova visão da História da Ciência para os licenciandos participantes, modificando muitas de suas posturas e concepções em relação à Física, à Ciência e à Educação. Os dados iniciais indicaram uma turma que compreendia questões de Natureza da Ciência e a importância da História da Ciência para o Ensino, mas que se baseava em opiniões superficiais e de senso comum. Os dados seguintes, após a aplicação da AMHIC, indicam uma mudança significativa nas concepções dos licenciandos; um deles, em particular, destaca-se por, em um primeiro momento, afirmar que não tinha afinidade com os conteúdos históricos e que não os utilizaria, para depois reconhecer sua relevância e relatar experiências em que neles se pautou. As respostas ao questionário final de avaliação e à entrevista apontam que os licenciandos consideraram a abordagem dos episódios históricos determinante para uma nova compreensão do viés histórico do conhecimento científico e do seu valor para o Ensino e a disciplina como um período marcante para suas formações.

A partir dos dados obtidos, é possível listar alguns aspectos gerais da aplicação da AMHIC que podem guiar futuras propostas de utilização.

A AMHIC não é um conjunto de regras

A Abordagem Multicontextual da História da Ciência (AMHIC) não pode ser encarada como um conjunto de regras a serem seguidas, mas uma proposta de abordagem diferenciada para promover a formação crítico-transformadora de professores de Física. Por esta razão, não é possível supor que a definição de episódio histórico ou dos contextos componentes da AMHIC são e ficarão restritos

ao aqui proposto. Estas definições couberam nessa construção inicial, o que implica numa provável alteração à medida que a abordagem se consolide.

A atitude do docente formador é crucial para a aplicação da AMHIC

Na Introdução, afirmei que este é um trabalho sobre formação inicial de professores, mas direcionado a docentes formadores. Nesse sentido, cabe ressaltar que esta proposta não se valida se o docente formador, em primeiro lugar, não conceber a formação crítico-transformadora como elemento importante da formação e, em segundo, não tiver a consciência de que a AMHIC não é a solução para todos os problemas.

A aplicação da AMHIC não envolve simplesmente apontar conceitos científicos, questões metacientíficas e algumas possibilidades de aplicação dos episódios em sala de aula, mas compreende uma interação articulada entre os contextos, juntamente com o viés problematizador. Isso implica que o docente formador deve estar consciente de que a utilização dessa abordagem tem um fim muito claro, a formação crítico-transformadora. Aplicar por aplicar sem um objetivo definido é permanecer na esteira do pragmatismo, o que vai contra a todo o arcabouço teórico que fundamenta a AMHIC.

A AMHIC e os elementos da formação crítico-transformadora

Ao longo da análise de dados, principalmente do questionário final de avaliação e da entrevista, apontei que havia indícios de que os licenciandos desenvolveram os elementos estruturadores da formação crítica, tais como o diálogo crítico com o mundo, a compreensão do papel de educador, o entendimento da Física como conhecimento historicamente construído etc. Isto ficou muito evidente, por exemplo, no caso do Licenciando A, que demonstrou uma mudança nítida de percepção e postura em relação à História da Ciência e uma atitude mais próxima de um ideal professor crítico-transformador. Entretanto, não é possível a partir disso estabelecer níveis de formação crítico-transformadora entre um ou outro licenciando.

Nesse sentido, assinalo a necessidade da construção de instrumentos de análise que busquem verificar e categorizar níveis de formação crítico-transformadora após a aplicação da AMHIC. Esta construção envolve considerar os pressupostos da pesquisa qualitativa em Educação e implica em um aprofundamento da análise descrita nesta tese.

A importância do contexto pedagógico

Na aplicação da AMHIC em EDP V, o *contexto pedagógico* foi trabalhado ao longo da discussão dos episódios históricos e teve como seu principal canalizador a construção do material didático. A análise dos materiais construídos denotou que os licenciandos não atingiram plenamente o objetivo proposto, embora tenham apresentado propostas inovadoras na utilização de conteúdos históricos para ensinar Física.

Esta constatação indica que o *contexto pedagógico* necessita ser mais bem trabalhado em aplicações futuras. Foi possível observar, principalmente pelas entrevistas, que os licenciandos refletiram sobre a prática, como era o objetivo da análise dos episódios pelo *contexto pedagógico*, mas essa reflexão não surtiu o efeito esperado. As discussões sobre quais aspectos dos episódios poderiam ser trabalhados em sala de aula e sobre a construção do material didático se mostraram insuficientes para que os licenciandos pudessem articular estes elementos ao pensar em um contexto de ensino

A AMHIC não se restringe à licenciatura ou às disciplinas de História da Ciência

Ao longo da discussão da AMHIC e de sua aplicação, apontei que esta abordagem não se restringe aos cursos de Licenciatura em Física ou às disciplinas específicas de História da Ciência, embora tenha sido utilizada inicialmente nesse contexto particular. A formação crítico-transformadora não deve estar presente

somente na licenciatura ou ser promovida exclusivamente nas disciplinas de História ou Evolução dos Conceitos, mas em toda a graduação.

Se entendemos a História da Ciência como peça fundamental para a compreensão da Ciência e da Física, isto deve ser fomentado ao longo de vários momentos no curso, inclusive nas disciplinas específicas de Física. A AMHIC oferece uma visão diferenciada de como abordar aspectos históricos, com a finalidade de promover uma formação crítico-transformadora, o que, nas mãos do docente formador, pode constituir em uma ferramenta importante na consolidação de um novo pensamento sobre a formação de licenciados e bacharéis em Física.

As discussões levantadas nessa tese configuram-se, portanto, como questões iniciais de uma abordagem que pode gerar um novo conjunto de ideias e ações em relação à formação crítico-transformadora de professores de Física. O conhecimento aqui apresentado por meio da retórica e da ação é inacabado, mas seu inacabamento demonstra seu potencial para percorrer caminhos diversificados em etapas futuras de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. The influence of history of science courses on student's views of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, 37, n. 10, 2000. 1057-1095.

ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **O que é história da ciência?** São Paulo: Brasiliense, 2004.

ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**, 13, 2004. 179-195.

ALMEIDA JR., J. B. A evolução do ensino de física no Brasil. **Revista de Ensino de Física**, v. 1, n. 2, p. 45-58, 1979.

_____. A evolução do ensino de física no Brasil - 2a parte. **Revista de Ensino de Física**, v. 2, n. 1, p. 55-73, 1980.

ALTERS, B. J. Whose nature of science? **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 1, p. 39-55, 1997.

ANDREIS, U. A. **Uma ligação possível entre a teoria da peça didática de Brecht, a pedagogia de Paulo Freire e o ensino de física.** Instituto de Física, Faculdade de Educação - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

ASSIS, A. K. T. **Mecânica relacional.** Campinas: Unicamp, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, 1998.

BARBOSA-LIMA, M. C.; QUEIROZ, G.; SANTIAGO, R. Ciência e arte: Vermeer, Huygens e Leeuwenhoek. **Física na Escola**, v. 8, n. 2, p. 27-30, 2007.

BEJARANO, N. R. R.; CARVALHO, A. M. P. Tornando-se professor de ciências: crenças e conflitos. **Ciência e Educação**, v. 9, n. 1, p. 1-15, 2003.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação.** Porto: Porto Editora, 1994.

BRASIL. **Lei n. 9.394, de 20 de Dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília: DOU, 1996.

_____. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

_____. Ministério da Educação. **Plano Nacional de Educação - PNE**. Brasília: Inep, 2001a.

_____. **Parecer CNE/CP, de 06 de Novembro de 2001**. Diretrizes curriculares nacionais para os cursos de Física. Brasília: DOU, 2001b.

_____. **Resolução CNE/CP 1, de 18 de Fevereiro de 2002**. Institui diretrizes curriculares nacionais para a formação de professores da educação básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena. Brasília: DOU, 2002a.

_____. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002b.

_____. Ministério da Educação. **Plano de Desenvolvimento da Educação: razões, princípios e programas**. Brasília: Inep, 2007.

BRUSH, S. Should history of science be rated X? **Science**, v. 183, p. 1164-72, 1974.

BUTTERFIELD, H. **The Whig interpretation of history**. New York: WW Norton, 1965.

CASTRO, R. **História e epistemologia da ciência: investigando suas contribuições num curso de física de segundo grau**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

CAVICCHI, E. M. Historical experiments in students' hands: unfragmenting science through action and history. **Science & Education**, v. 17, p. 717-49, 2008.

CERQUIER-MANZINI, M. L. **O que é cidadania?** São Paulo: Brasiliense, 2010.

CHALMERS, A. F. **O que é Ciência, afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHANG, H. How historical experiments can improve scientific knowledge and science education: the cases of boiling water and electrochemistry. **Science & Education**, v. 20, p. 314-41, 2011.

DELIZOICOV, D. Problemas e problematizações. In: PIETROCOLA, M. **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

DEWEY, J. **How we think: a restatement of the relation of reflective thinking to the educative process**. Boston: Heath, 1933.

EFLIN, J. T.; GLENNAN, S.; REISCH, G. The nature of science: a perspective from the philosophy of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 1, p. 107-16, 1999.

EL-HANI, C. N.; TAVARES, E. J. M.; ROCHA, P. L. B. Concepções epistemológicas de estudantes de biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre história e filosofia das ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 3, p. 265-313, 2004.

ERICSON, F. Qualitative research methods for science education. In: FRASER, B. J.; TOBIN, K. G. **International handbook of science education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998.

FEYERABEND, P. K. **Contra o método**. São Paulo: Editora UNESP, 2007.

FORATO, T. C. M. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FORATO, T. C. M.; MARTINS, R. A.; PIETROCOLA, M. History and nature of science in high school: building up parameters to guide educational materials and strategies. **Science & Education**, v. 21, n. 5, p. 657-682, 2012.

FRANKEL, E. Corpuscular optics and the wave theory of light: the science and politics of a revolutions in physics. **Social Studies of Science**, v. 6, n. 2, p. 141-84, 1976.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

_____. **Pedagogia do oprimido**. São Paulo: Paz e Terra, 2005.

_____. **Extensão ou Comunicação?** São Paulo: Paz e Terra, 2011.

GHIRALDELLI JR., P. **História da Educação Brasileira**. São Paulo: Cortez, 2009.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-53, 2001.

GIROUX, H. **A escola crítica e a política cultural**. São Paulo: Cortez, Autores Associados, 1992.

_____. **Os professores como intelectuais: rumo a uma pedagogia crítica da aprendizagem**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

GOWER, B. Speculation in physics: the history and practice of Naturphilosophie. **Studies in History and Philosophy of Science**, n. 4, 1973.

HAKFOORT, C. **Optics in the age of Euler - conceptions of the nature of light, 1700-1795**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

HALL, A. R. **All was light: an introduction to Newton's Opticks**. Oxford: Claredon Press, 1993.

HEERING, P. Public experiments and their analysis with the replication method. **Science & Education**, *online version*, 2006.

_____. Educating and entertaining: using enlightenment experimes for teacher training. In: HEERING, P.; OSEWOLD, D. **Constructing scientific understanding through contextual teaching**. Berlin: Fran & Timme, 2007a.

_____. Coils, currents and forces: Ampère's experiments on electromagnetism. In: 9th International History, Philosophy and Science Teaching Conference. **Proceedings...** 2007b.

HEILBRON, J. L. **Electricity in the 17th and 18th centuries**. Berkeley: University of California Press, 1999.

HENRIQUE, A. B. **Discutindo a natureza da ciência a partir de episódios da história da cosmologia**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

HÖTTECKE, D. How and what can we learn from replicating historical experiments? - a case study. **Science & Education**, v. 9, p. 343-62, 2000.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why implementing history and philosophy of science in school science education is a challenge: an anlysis of obstacles. **Science & Education**, v. 20, n. 3-4, p. 293-316, 2011.

IRWIN, A. R. Historical case studies: teaching the nature of science in context. **Science Education**, v. 84, n. 1, p. 5-26, 2000.

KIPNIS, N. Chance in science: the discovery of electromagnetism by H.C. Oersted. **Science & Education**, v. 14, p. 1-28, 2005.

KLASSEN, S. A theoretical framework for contextual science teaching. **Interchange**, v. 37, n. 1-2, p. 31-62, 2006.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2006.

LARANJEIRAS, C. **Redimensionando o ensino de física numa perspectiva histórica**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

LEDERMAN, N. G. Student's and teacher's conceptions of the nature of science: a review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 4, p. 331-59, 1992.

LEDERMAN, N. G. et al. Views on nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 6, p. 497-521, 2002.

LIMA, A. B. Dez anos de LDB: anos de contínua reforma educacional. In: SILVA, M. V.; MARQUES, M. R. A. **LDB: balanços e perspectivas para a educação brasileira**. Campinas, SP: Editora Alínea, 2008.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MARTINS, A. F. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-31, 2007.

MARTINS, R. A. Tratado sobre a luz, de Christiaan Huygens. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 10, n. suplemento 4, p. 1-99, 1986a.

_____. Orsted e a descoberta do eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v. 10, p. 89-114, 1986b.

_____. Sobre o papel da história da ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 9, p. 3-5, 1990.

_____. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. **Acta Scientiarum**, v. 21, n. 4, p. 823-35, 1999.

_____. Como não escrever sobre história da ciência - um manifesto historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p. 113-29, 2001.

_____. Resistance to the discovery of electromagnetism: Orsted and the symmetry of the magnetic field. In: BEVILACQUA, F.; GIANNETTO, E. **Volta and the history of electricity**. Pavia/Milano: Università degli Studi di Pavia, Editore Ulrico Hoepli, 2003.

_____. Física e história: o caso da teoria da relatividade. **Ciência e Cultura**, v. 57, n. 3, p. 25-9, 2005.

_____. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006a.

_____. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. In: SILVA, C. C. **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006b.

MATTHEWS, M. R. **Science teaching - the role of history and philosophy of science**. New York: Routledge, 1994.

_____. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MCCOMAS, W. F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of nature of science. **Science & Education**, v. 17, n. 2-3, p. 249-63, 2008.

MCCOMAS, W. F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P. The nature of science in science education: an introduction. **Science & Education**, v. 7, n. 6, p. 511-32, 1998.

MENEZES, L. C. Ensino de Física: reforma ou revolução? In: MARTINS, A. F. **Física ainda é Cultura?** São Paulo: Livraria da Física, 2009.

METZ, D. et al. Building a foundation for the use of historical narratives. **Science & Education**, v. 16, p. 313-34, 2007.

METZ, D.; STINNER, A. A role for historical experiments: capturing the spirit of itinerant lectures of the 18th century. **Science & Education**, 2006.

MONK, M.; OSBOURNE, J. Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of a pedagogy. **Science Education**, v. 81, p. 405-24, 1997.

MOREIRA, M. A. Ensino de física no Brasil: retrospectivas e perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 94-9, 2000.

MOURA, B. A. **A aceitação da óptica newtoniana no século XVIII: subsídios para discutir a natureza da ciência no ensino**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MOURA, B. A.; SILVA, . C. C. A teoria dos estados da luz: considerações sobre o papel das hipóteses na óptica newtoniana. In: MARTINS, R. A., et al. **Filosofia e História da Ciência no cone Sul**: seleção dos trabalhos do 5º encontro. Campinas: Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul, 2008.

NEWTON, I. **Principia. Livro I**. São Paulo: EDUSP, 1990.

_____. **Óptica**. São Paulo: EDUSP, 1996.

_____. **Principia. Livros II e III**. São Paulo: EDUSP, 2008.

NOVOA, A. Os professores na virada do milênio: do excesso dos discursos à pobreza das práticas. **Educação e Pesquisa**, v. 25, n. 1, p. 11-20, 1999.

OSTERMANN, F. A epistemologia de Kuhn. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 184-96, 1996.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da história da ciência. In: PIETROCOLA, M. **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

PEREIRA, J. E. D. As licenciaturas e as novas políticas educacionais para a formação docente. **Educação e Sociedade**, v. 68, p. 109-25, 1999.

PERNAMBUCO, M. M. C. A. Escola hoje e o ensino de física. In: MARTINS, A. F. **Física ainda é Cultura?** São Paulo: Livraria da Física, 2009.

PERRENOUD, P. **Dez novas competências para ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 2000.

_____. **A prática reflexiva no ofício de professor**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

PIASSI, L. P. **Contatos: a ficção científica no ensino de ciências em um contextos sócio cultural**. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PORRA, A. C.; SALES, N. L. L.; SILVA, C. C. Concepções de natureza da ciência: adaptação de um instrumento para aplicação em alunos de licenciatura de universidades públicas brasileiras. In: VIII Encontro de Pesquisa em Educação em Ciências. **Anais...** 2011.

PUMFREY, S. History of science in the National Science Curriculum: a critical review of the resources and their aims. **British Journal for the History of Science**, v. 24, n. 1, p. 61-78, 1991.

RICARDO, E. C.; ZYLBERSZTAJN, A. Os Parâmetros Curriculares Nacionais na formação inicial dos professores de ciências da natureza e matemática no ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, p. 339-55, 2007.

_____. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para as ciências no ensino médio: uma análise a partir da visão de seus elaboradores. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 257-74, 2008.

RIESS, F.; HEERING, P.; NAWRATH, D. **Reconstructing Galileo's inclined plane experiments for teaching purposes**. In: 8th International History, Philosophy, Sociology and Science Teaching Conference. **Proceedings...** 2005.

ROSA, K.; MARTINS, M. C. A inserção da história e filosofia da ciência no currículo de licenciatura em física da Universidade Federal da Bahia: uma visão de professores universitários. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 3, p. 321-37, 2007.

RUDGE, D. W.; HOWE, E. M. An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. **Science & Education**, v. 18, n. 5, p. 561-80, 2009.

RUSSELL, T. S. What history of science, how much and why? **Science Education**, v. 65, n. 1, p. 51-64, 1981.

SABRA, A. I. **Theories of Light From Descartes to Newton**. London: Cambridge University Press, 1981.

SANTOS, J. L. **O que é Cultura?** São Paulo: Brasiliense, 2010.

SAVIANI, D. O Plano de Desenvolvimento da Educação: análise do projeto do MEC. **Educação e Sociedade**, v. 28, n. 100 - especial, p. 1231-55, 2007.

_____. **Da nova LDB ao FUNDEB: por uma outra política educacional**. Campinas: Autores Associados, 2008.

_____. Formação de professores: aspectos históricos e teóricos do problema no contexto brasileiro. **Revista Brasileira de Educação**, v. 14, n. 40, p. 143-55, 2009.

SCHÖN, D. Formar professores como profissionais reflexivos. In: NOVOA, A. **Os professores e sua formação**. Lisboa: Dom Quixote, 1992.

_____. **Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem**. Porto Alegre: Artmed, 2000.

SEGENREICH, S. C. D. ProUni e UAB como estratégias de EAD na expansão do ensino superior. **Pró-Posições**, v. 20, n. 2, p. 205-22, 2009.

SHAPIRO, A. E. Beyond the dating game: watermark clusters and the composition of Newton's Opticks. In: HARMAN, P. M.; SHAPIRO, A. E. **The investigation of difficult things: essays of Newton and the history of exact sciences in honour of D.T. Whiteside**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

SILVA, C. C. **A teoria das cores de Newton: um estudo crítico do Livro I do Opticks**. Instituto de Física "Gleb Wataghin" - Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 1996.

_____. Pierre Curie e a simetria das grandezas eletromagnéticas. In: SILVA, C. C. **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A "Nova teoria de luz e cores" de Isaac Newton: uma tradução comentada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 18, n. 4, p. 313-27, 1996.

_____. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência e Educação**, v. 9, n. 1, p. 53-65, 2003.

SILVA, C. C.; MOURA, B. A. Science and society: the case of acceptance of newtonian optics in the eighteenth century. **Science & Education**, v. 21, n. 9, p. 1317-36, 2012.

SILVA, F. W. O. A teoria da luz de Newton nos textos de Young. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, 2009.

SILVA, S. M. As diretrizes curriculares nacionais para a formação de professores e o imperativo da flexibilização. In: SILVA, M. V.; MARQUES, M. R. A. **LDB: balanços e perspectivas para a educação brasileira**. Campinas, SP: Editora Alínea, 2008.

SIMON, S. A adequação das teorias matemáticas às teorias físicas: a Teoria da Relatividade. In: PIETROCOLA, M.; FREIRE JR., O. **Filosofia, ciência e história: uma homenagem aos 40 anos de colaboração de Michel Paty com o Brasil**. São Paulo: Discurso Editorial, 2005.

VALENTE, I.; ROMANO, R. PNE: Plano Nacional de Educação ou carta de intenção? **Educação e Sociedade**, v. 23, n. 80, p. 96-107, 2002.

VANNUCCHI, A. I. **História e filosofia da ciência: da teoria para a sala de aula**. Instituto de Física, Faculdade de Educação - Universidade de São Paulo. São Paulo. 1997.

WANG, H. A.; MARSH, D. D. Science instruction with a humanistic twist: teachers' perception and practice using the history of science in their classrooms. **Science & Education**, v. 11, p. 169-89, 2002.

ZABALA, A. **Enfoque globalizador e pensamento complexo: uma proposta para o currículo escolar**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

ZANETIC, J. **Física também é cultura**. Faculdade de Educação - Universidade de São Paulo. São Paulo. 1989.

_____. Física e Cultura. **Ciência e Cultura**, v. 57, n. 3, p. 21-4, 2005.

_____. Física e arte: uma ponte entre duas culturas. **Pró-Posições**, v. 17, n. 1, p. 39-57, 2006.

_____. Física ainda é Cultura! In: MARTINS, A. F. **Física ainda é Cultura?** São Paulo: Livraria da Física, 2009.

ANEXOS

Anexo 1

Dados do INEP sobre os cursos de Licenciatura em Física e Física de 2002 e 2008.

As tabelas abaixo mostram o número de cursos de formação de professores de matérias específicas e de Licenciatura em Física e Física de 2002 e 2008. Os dados foram adaptados a partir dos originais obtidos no INEP.

3 - Cursos Graduação Presenciais

3.2 - Número de Cursos de Graduação Presenciais, em 30/06, por Organização Acadêmica e Categoria Administrativa das IES, segundo as Áreas Gerais, Áreas Detalhadas e Programas e/ou Cursos - Brasil - 2002

Áreas Gerais, Áreas Detalhadas e Programas e/ou Cursos	Número de Cursos de Graduação Presenciais					
	Total					
	Total	Pública			Privada	
		Federal	Estadual	Municipal	Particular	Comun/ Confes/ Filant
Total	14.399	2.316	2.556	380	5.236	3.911
Educação	4.675	816	1.568	140	1.109	1.042
Formação de professor de matérias específicas	2.527	476	863	92	515	581
Formação de professor de biologia	227	44	80	8	45	50
Formação de professor de ciências	259	29	118	10	44	58
Formação de professor de desenho	1	-	1	-	-	-
Formação de professor de educação religiosa	5	1	1	1	-	2
Formação de professor de estudos sociais	33	-	-	-	19	14
Formação de professor de filosofia	53	7	7	-	12	27

Formação de professor de física	68	29	17	3	6	13
Formação de professor de geografia	267	49	106	13	47	52
Formação de professor de história	331	50	129	18	62	72
Formação de professor de letras	584	74	137	22	186	165
Formação de professor de língua/literatura estrangeira moderna	22	5	15	-	1	1
Formação de professor de língua/literatura vernácula (português)	92	20	62	-	1	9
Formação de professor de língua/literatura vernácula e língua estrangeira clássica	1	-	1	-	-	-
Formação de professor de língua/literatura vernácula e língua estrangeira moderna	39	10	17	2	4	6
Formação de professor de matemática	418	125	133	13	67	80
Formação de professor de matérias pedagógicas	23	-	17	-	2	4
Formação de professor de psicologia	8	-	2	1	3	2
Formação de professor de química	69	22	17	-	11	19
Formação de professor em ciências sociais	27	11	3	1	5	7
Física	65	35	21	-	2	7
Astronomia	2	1	-	-	1	-
Física	60	33	20	-	1	6
Física aplicada	3	1	1	-	-	1

Fonte: MEC/INEP/DAES

3 - Cursos Graduação Presenciais

3.2 - Número de Cursos de Graduação Presenciais, em 30/06, por Organização Acadêmica e Categoria Administrativa das IES, segundo as Áreas Gerais, Áreas Detalhadas e Programas e/ou Cursos - Brasil - 2008

Áreas Gerais, Áreas Detalhadas e Programas e/ou Cursos	Número de Cursos de Graduação Presenciais					
	Total					
	Total	Pública			Privada	
		Federal	Estadual	Municipal	Particular	Comun/ Confes/Filant
Total	24.719	3.235	2.897	640	11.588	6.359
Educação	6.242	921	1.629	186	1.962	1.544
Formação de professor de matérias específicas	3.418	579	1.030	116	940	753
Formação de professor de biologia	384	74	106	14	103	87
Formação de professor de ciências	193	25	119	7	21	21
Formação de professor de desenho	1	.	1	.	.	.
Formação de professor de educação religiosa	10	1	3	1	.	5
Formação de professor de estatística	2	.	.	.	.	2

Formação de professor de estudos sociais	15	.	3	.	6	6
Formação de professor de filosofia	80	9	11	1	25	34
Formação de professor de física	139	57	32	5	20	25
Formação de professor de geografia	316	47	113	12	79	65
Formação de professor de história	468	49	152	20	134	113
Formação de professor de letras	912	89	243	30	348	202
Formação de professor de língua/literatura estrangeira moderna	32	12	17	.	1	2
Formação de professor de língua/literatura vernácula (português)	58	19	32	.	2	5
Formação de professor de língua/literatura vernácula e língua estrangeira moderna	39	12	12	.	3	12
Formação de professor de matemática	567	118	136	23	165	125
Formação de professor de matérias pedagógicas	6	1	2	.	1	2
Formação de professor de psicologia	2	.	1	.	1	.
Formação de professor de química	161	49	44	3	26	39
Formação de professor de sociologia	5	2	1	.	1	1
Formação de professor em ciências sociais	28	15	2	.	4	7
Física	63	34	19	.	2	8
Astronomia	2	1	.	.	1	.

Física	54	31	15	.	1	7
Física aplicada	7	2	4	.	.	1

Anexo 2

Matriz curricular do curso de Licenciatura em Física da UFTM, com vigência a partir do 2º semestre de 2011.

MATRIZ CURRICULAR
Vigência a partir de (2011/2)

1º PERÍODO								
Código	Unidades Temáticas	Horas-Aula					Créditos	Pré-requisito
		Teórica	Prática	AD	APC	Total		
	Homem, Sociedade e Cultura	90	-	-	-	90	06	
	Estudos e Desenvolvimento de Projetos I	30	-	30	60	120	08	
	Metodologia Científica	30	-	-	-	30	02	
	Pré-Cálculo	60	-	-	-	60	04	
	Introdução à Ciência	30	-	-	-	30	02	
	Eletiva I	30	-	-	-	30	02	
	Atividades Acadêmico-Científico Culturais I	00	30	-	-	30	02	
-	SubTotal	270	30	30	60	390	26	-

2º PERÍODO								
Código	Unidades Temáticas	Horas-Aula					Créditos	Pré-requisito
		Teórica	Prática	AD	APC	Total		
	Fundamentos da Física	60	-	-	-	60	04	
	Leitura e Produção de Textos	60	-	-	-	60	04	
	Estudos e Desenvolvimento de Projetos II	30	-	30	60	120	08	
	Cálculo Diferencial e Integral I	60	-	-	-	60	04	PC
	Geometria Analítica	30	-	-	-	30	02	PC
	Química Geral	30	30	-	-	60	04	
	Atividades Acadêmico-Científico Culturais II	00	30	-	-	30	02	
-	SubTotal	270	60	30	60	420	28	-

3º PERÍODO								
Código	Unidades Temáticas	Horas-Aula					Créditos	Pré-requisito
		Teórica	Prática	AD	APC	Total		
	Física I	75	-	-	-	75	05	FFIS, CDI I, GA
	Física Experimental I	00	45	-	-	45	03	FFIS, PC
	Cálculo Diferencial e Integral II	60	-	-	-	60	04	CDI I
	Concepções de Educação e Novos Paradigmas	30	-	-	-	30	02	

	Política e Organização da Educação Básica no Brasil	30	-	-	-	30	02	
	Estudos e Desenvolvimento de Projetos III	30	-	-	60	90	06	
	Eletiva II	30	-	-	-	30	02	
	Atividades Acadêmico-Científico Culturais III	00	30		-	30	02	
	SubTotal	255	75	-	60	390	26	-

4º PERÍODO								
Código	Unidades Temáticas	Horas-Aula					Créditos	Pré-requisito
		Teórica	Prática	AD	APC	Total		
	Cálculo Diferencial e Integral III	60	-	-	-	60	04	CDI II
	Física II	75	-	-	-	75	05	FISC1
	Física Experimental II	00	45	-	-	45	03	FIEXP1
	Física Matemática I	30	-	-	-	30	02	CDI I, GA
	História da Educação no Brasil	30	-	-	-	30	02	
	Didática Geral e Saber Docente	30	-	-	-	30	02	
	Estudos e Desenvolvimento de Projetos IV	30	-	-	60	90	06	
	Atividades Acadêmico-Científico Culturais IV	00	30	-	-	30	02	
-	SubTotal	255	75	-	60	390	26	-

5º PERÍODO								
Código	Unidades Temáticas	Horas-Aula					Créditos	Pré-requisito
		Teórica	Prática	AD	APC	Total		
	Física III	75	-	-	-	75	05	FISC1, CDI III
	Física Experimental III	00	30	-	-	30	02	FIEXP1
	Física Computacional	15	15	-	-	30	02	FISC1, GA, CDI I
	Astronomia I	30	-	-	-	30	02	FFISC, PC
	Saberes do Docente em Física	30	-	-	-	30	02	
	Teorias e Estratégias de Aprendizagem	30	-	-	-	30	02	
	O Planejamento em Educação	30	-	-	-	30	02	
	Estudos e Desenvolvimento de Projetos V	30	-	-	60	90	06	
	Orientação e Estágio Curricular Supervisionado I	15	105			120	08	
	Atividades Acadêmico-Científico Culturais V	00	30	-	-	30	02	
	SubTotal	255	180	-	60	495	33	-

6º PERÍODO								
Código	Unidades Temáticas	Horas-Aula					Créditos	Pré-requisito
		Teórica	Prática	AD	APC	Total		

	Física IV	60	-	-	-	60	04	FISC2
	Física Experimental IV	00	30	-	-	30	02	FIEXP1
	Física Matemática II	45	-	-	-	45	03	FMAT1, FISC2
	Termodinâmica	60	-	-	-	60	04	FISC2
	Estudos e Desenvolvimento de Projetos VI	30	-	-	60	90	06	FCOMP
	Projetos de Ensino de Física	30	-	-	-	30	02	
	Avaliação Educacional	30	-	-	-	30	02	
	Orientação e Estágio Curricular Supervisionado II	15	105			120	08	OESUP1
	Atividades Acadêmico-Científico Culturais VI	00	30	-	-	30	02	
-	SubTotal	270	165	-	60	495	33	-

7º PERÍODO								
Código	Unidades Temáticas	Horas-Aula					Créditos	Pré-requisito
		Teórica	Prática	AD	APC	Total		
	Eletromagnetismo	75	-	-	-	75	05	FISC3, CDI III
	Mecânica Clássica	75	-	-	-	75	05	FISC1, CDI III
	Língua Brasileira de Sinais	30	-		-	30	02	
	O Uso de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) na Aprendizagem de Física	30	-	-	60	90	06	
	Trabalho de Conclusão de Curso I	15	15	-	-	30	02	
	Orientação e Estágio Curricular Supervisionado III	15	105			120	08	OESUP2
	Atividades Acadêmico-Científico Culturais VII	00	30	-	-	30	02	
	SubTotal	240	150	-	60	450	30	-

8º PERÍODO								
Código	Unidades Temáticas	Horas-Aula					Créditos	Pré-requisito
		Teórica	Prática	AD	APC	Total		
	Eletiva III	30	-	-	-	30	02	Verificar o pré-requisito da disciplina escolhida
	Evolução dos Conceitos da Física	60	-	-	-	60	04	
	Estrutura da Matéria	75	-	-	-	75	05	FISC4, CDI III
	Laboratório de Estrutura da Matéria	00	45	-	-	45	03	FISC4, CDI III, FISEXP4
	Instrumentação para o Ensino de Física	30	-	-	-	30	02	
	Orientação e Estágio Curricular	15	105			120	08	OESUP3

	Supervisionado IV							
	Currículo Escolar	30	-	-	60	90	06	
	Trabalho de Conclusão de Curso II	15	15	-	-	30	02	TCC1
	Atividades Acadêmico-Científico Culturais VIII	00	30	-	-	30	02	
	SubTotal	255	195	-	60	510	34	-

*APC – Atividade Prática Curricular

* AD – Componente Curricular a Distância

SÍNTESE DA MATRIZ CURRICULAR		
COMPONENTES CURRICULARES	HORAS-AULA	CRÉDITOS
Componentes Curriculares Gerais - Unidades Temáticas	2.130	142
Componentes Curriculares Eletivos	90	6
Componentes Curriculares Optativos	-	-
Estágio Curricular Supervisionado	480	32
Práticas de Ensino - APC	480	32
Trabalho de Conclusão de Curso	60	4
Componentes Curriculares a Distância	60	4
Atividades Acadêmico-Científico- Culturais	240	16
TOTAL DO CURSO	3.540 h/a	236
Carga Horária Total do Curso em horas = 2.950 horas		
Tempo de integralização curricular (semestres/anos)	Mínimo	Máximo
	8 semestres/4 anos	12 semestres/6 anos

ATO DE CRIAÇÃO/AUTORIZAÇÃO/RECONHECIMENTO DO CURSO

Resolução nº. 04 da Congregação da UFTM de 25.10.2007

OBSERVAÇÕES:

1. De acordo com a Resolução nº 001 de 09/02/2010 da Congregação da UFTM, a duração dos cursos será fixada em horas-aula (h/a). Cada h/a terá a duração de 50 minutos. O crédito acadêmico corresponde a 15 (quinze) horas/aula.
2. Quando a CH semestral das Atividades Acadêmico-Científico-Culturais não for cumprida deverá ser registrado Habilitado ou Inabilitado.

Anexo 3

Ementas das disciplinas "Estudos e Desenvolvimento de Projetos IV" e "V"

ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS IV					
TEÓRICA 30h/a	AD	APC 60h/a	TOTAL 90h/a – 6c	PERÍODO IV	EIXO TEMÁTICO Múltiplas Linguagens
<p style="text-align: center;">EMENTA</p> <p>Estudos e desenvolvimento de projetos articulados às Unidades Temáticas Física I e Física II. Produção de atividades de ensino utilizando abordagem histórica contextualizada. O trabalho em grupo, a pesquisa individual e coletiva. Projetos interdisciplinares. Atividades de Prática como componente curricular.</p>					
<p style="text-align: center;">BIBLIOGRAFIA</p> <p>BÁSICA</p> <p>SILVA, Cibelle C. Estudos de História e Filosofia das Ciências – Subsídios para aplicação no Ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.</p> <p>ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas. São Paulo: EDUC/ Editora Livraria da Física, 2004.</p> <p>FREIRE JR., O. e RIBEIRO FILHO, A. Origens e Evolução das Idéias da Física. EDUFBA, Salvador-BA, 2002.</p> <p>COMPLEMENTAR</p> <p>NEWTON, I. Principia: Princípios Matemáticos da Filosofia Natural - Livro I. São Paulo: EDUSP, 2008.</p> <p>NEWTON, I. Principia – Livros II e III – Princípios Matemáticos da Filosofia Natural. São Paulo: EDUSP, 2008.</p> <p>GALILEI, G. Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo: Ptolomaico e Copernicano. 2ª edição. São Paulo: Editora Discurso Editorial/Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004</p> <p>COPERNICO, N. Commetariolus. 2ª edição São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003</p>					

ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS V					
TEÓRICA 30h/a	AD	APC 60h/a	TOTAL 90h/a – 6c	PERÍODO V	EIXO TEMÁTICO Múltiplas Linguagens
<p style="text-align: center;">EMENTA</p> <p>Estudos e desenvolvimento de projetos articulados às Unidades Temáticas Física III e Física IV. Produção de atividades de ensino utilizando abordagem histórica contextualizada. O trabalho em grupo, a pesquisa individual e coletiva. Projetos interdisciplinares.</p>					
<p style="text-align: center;">BIBLIOGRAFIA</p> <p>BÁSICA</p> <p>SILVA, C.C. Estudos de História e Filosofia das Ciências – Subsídios para aplicação no Ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física. 2006</p> <p>ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas. São Paulo: EDUC/ Editora Livraria da Física, 2004.</p> <p>COMPLEMENTAR</p> <p>LOPES, J.L. Uma História da Física no Brasil. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.</p> <p>NEWTON, I. Optica. São Paulo: EDUSP, 1996.</p> <p>ROCHA, J.F.M. (org.) A Origens e Evolução das Idéias da Física. EDUFBA, Salvador-BA, 2002.</p> <p>ASSIS, A. K. T. Os Fundamentos Experimentais e Históricos da Eletricidade. 1ª edição. Montreal: Apeiron, 2010</p>					

APÊNDICES

Apêndice 1

Material disponibilizado aos licenciandos contendo os aspectos consensuais da Natureza da Ciência, a partir de diversos autores.

NATUREZA DA CIÊNCIA **Aspectos**

Os aspectos da Natureza da Ciência listados abaixo foram retirados de diversos trabalhos de pesquisadores sobre o tema (listados abaixo). Por este motivo, muitos deles são semelhantes.

Sobre as definições de Ciência

- O principal objetivo da Ciência é adquirir conhecimento do mundo natural
- A Ciência é dinâmica, mutável e experimental
- Há uma ordem implícita no mundo que a Ciência procura descrever da maneira mais simples e compreensível
- O conhecimento científico não é estático e convergente, mas mutável e ilimitado
- O conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter provisório
- A Ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais
- A procura de uma coerência global; é preciso duvidar sistematicamente dos resultados obtidos e de todo o processo seguido para obtê-los, o que conduz a revisões contínuas na tentativa de obter esses mesmos resultados por diferentes caminhos e, muito particularmente, para mostrar coerência com os resultados obtidos noutras situações

Sobre o método científico

- Não há nenhum método científico único
- A recusa da idéia de “Método Científico”, como um conjunto de regras perfeitamente definidas a aplicar de uma forma mecânica e independentemente do domínio investigado
- O desacordo sempre é possível
- Não existe uma única maneira de se fazer Ciência (portanto, não existe um método científico universal)

Sobre a influência do contexto social

- O raciocínio científico não se estabelece sem apelar para fontes sociais, morais, espirituais e culturais
- Os cientistas não desenvolvem deduções incontestáveis, mas fazem complexos julgamentos de especialistas
- As idéias científicas são afetadas pelo ambiente histórico e social
- A Ciência é parte de tradições culturais e sociais
- Pessoas de todas as culturas contribuem para a Ciência

Sobre a relação entre leis e teorias

- As teorias científicas não são induções, mas hipóteses que vão imaginativa e necessariamente além das observações
- As teorias científicas não podem ser provadas
- Leis e teorias desempenham diferentes papéis na Ciência, portanto os estudantes devem notar que as teorias não se tornam leis mesmo com evidências adicionais

Sobre as observações e as teorias

- Observação significativa não é possível sem uma expectativa pré-existente
- A Natureza não produz evidências simples o bastante para permitir uma interpretação não ambígua
- Treinamento compartilhado é um componente essencial do acordo entre os cientistas
- As observações são dependentes da teoria

Outros aspectos

- O conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não totalmente, na observação, em evidências experimentais, em argumentos racionais e no ceticismo
- O novo conhecimento deve ser informado clara e abertamente
- Os cientistas necessitam da preservação registros precisos, revisão e replicabilidade
- Os cientistas são criativos
- A Ciência e a Tecnologia se influenciam

Trabalhos consultados

EFLIN, J.T.; GLENNAN, S.; REISCH, G. The nature of science: a perspective from the philosophy of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 1, pp. 107-116, 1999.

GIL-PERÉZ, D.; MONTORO, I.F.; ALÍS, J.C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, pp. 125-153, 2001.

McCOMAS, W.F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M.P. The Nature of Science in Science Education: An Introduction. **Science & Education**, v. 7, n. 6, pp. 511-532, 1998.

PUMFREY, S. History of science in the National Science Curriculum: a critical review of resources and their aims. **British Journal for the History of Science**, v. 24, n. 1, pp. 61-78, 1991.

Apêndice 2

Apostila com trechos de trabalhos originais de Huygens, Newton e Young entre aos licenciandos.

Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM)

MATERIAL DE APOIO

Prof. Breno Arsioli Moura
breno@fisica.uftm.edu.br

CHRISTIAAN HUYGENS

“Tratado sobre a Luz” (1690)* - Trechos selecionados

SOBRE OS RAIOS QUE SE PROPAGAM DIRETAMENTE

Como acontece em todas as ciências nas quais a geometria é aplicada à matéria, as demonstrações relativas à Óptica são fundamentadas sobre verdades tiradas da experiência - tais como a de que os raios de luz se propagam em linha reta; que os ângulos de reflexão e de incidência são iguais; e que nas refrações o raio se desvia de acordo com a regra dos senos (agora tão conhecida) e que não é menos certa do que as precedentes.

A maior parte daqueles que escreveram sobre as diferentes partes da Óptica contentaram-se com pressupor essas

* Trabalho traduzido por Roberto de Andrade Martins e publicado em *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, Suplemento 4: 1-99, 1986. Os trechos em negrito entre colchetes foram adicionados por Breno Arsioli Moura.

verdades. Mas alguns mais curiosos quiseram pesquisar sua origem e as suas causas, considerando-as elas próprias como efeitos admiráveis da natureza. Assim propuseram coisas engenhosas, mas não de tal tipo que os mais inteligentes não desejem explicações ainda mais satisfatórias. Quero propor aqui o que meditei sobre esses assuntos, para contribuir tanto quanto posso ao esclarecimento dessa parte da Ciência Natural, que com razão é considerada uma das mais difíceis. Reconheço que devo muito àqueles que primeiramente começaram a dissipar a estranha obscuridade em que estavam envoltas essas coisas e a dar esperança de que elas pudessem ser explicadas por razões inteligíveis. Mas também me espanto, por outro lado, pois esses mesmos quiseram frequentemente fazer certos raciocínios pouco evidentes passarem por muito seguros e demonstrativos. Não se encontra pessoa nenhuma que tenha ainda explicado de forma provável esses fenômenos primeiros e mais notáveis da luz, a saber: por que ela somente se propaga seguindo linhas retas e como os raios visuais, provindo de uma infinidade de lugares, cruzam-se sem em nada atrapalharem-se uns aos outros.

Tentarei, portanto nesse livro, por princípios aceitos na Filosofia atual, dar razões mais claras e verossímeis - primeiramente, dessas propriedades da luz que se propaga diretamente; em segundo lugar, daquela que é refletida pelo encontro com outros corpos. Depois explicarei os sintomas dos raios que se diz sofrerem refração passando por corpos diáfanos de diferentes espécies - onde também tratarei dos efeitos da refração no ar, levando em conta as diferentes densidades da atmosfera [...].

[...] Primeiramente, segue-se daquilo que foi dito sobre a produção da luz, que cada pequeno lugar de um corpo luminoso, como o Sol, uma vela ou um carvão ardente, gera ondas cujo centro é esse lugar. Assim, na chama de uma vela **[figura 1]**, sendo distinguidos os pontos *A*, *B* e *C*, os representam as ondas que deles provêm. E deve-se conceber o mesmo em círculos concêntricos descritos em torno de cada um desses pontos torno de cada ponto da superfície e de uma parte interna dessa

chama.

Figura 24

Como as percussões no centro dessas ondas não possuem uma seqüência regular, também não se deve imaginar que as ondas sigam umas às outras por distâncias iguais: se essas distâncias o parecem nessa figura, é mais para indicar o progresso de uma mesma onda em tempos iguais, do que para representar várias [ondas] provenientes de um mesmo centro.

Não deve parecer inconcebível, por outro lado, que essa prodigiosa quantidade de ondas se atravesse sem confusão e sem se apagarem umas às outras. É certo que uma mesma partícula de matéria pode servir a diversas ondas, provenientes de

diferentes lados, ou mesmo de lados contrários – não apenas se ela for empurrada por golpes que se sigam proximamente uns aos outros, mas também por aqueles que atuem sobre ela no mesmo instante. Isso ocorre por causa do movimento que se propaga sucessivamente.

[...] Mas o que pode inicialmente parecer muito estranho e até inacreditável é que ondulações produzidas por movimentos e corpúsculos tão pequenos possam se propagar a distâncias tão imensas, como por exemplo desde o Sol ou desde as estrelas até nós. Pois a força dessas ondas deve enfraquecer à medida que elas se afastam de sua origem, de modo que a ação de cada uma em particular se tornará sem dúvida incapaz de se fazer sentir por nossa visão. Mas esse espanto cessará considerando-se que a uma grande distância do corpo luminoso uma infinidade de ondas, embora provenientes de diferentes pontos desse corpo, unificam-se de modo que sensivelmente compõem uma só onda, que conseqüentemente deve ter força suficiente para se fazer sentir. Assim esse número infinito de ondas que nascem no mesmo instante em todos os pontos de uma estrela fixa, talvez grande como o Sol, não formam sensivelmente mais do que uma só onda, que pode ter força suficiente para produzir uma impressão em nossos olhos. Além disso, de cada ponto luminoso podem provir muitos milhares de ondas ao menor tempo imaginável, pela freqüente percussão dos corpúsculos, que atingem o éter nesses pontos, e isso também contribui para tornar sua ação mais sensível.

Deve-se ainda considerar na emanção dessas ondas que cada partícula de matéria atingida por uma onda não deve comunicar seu movimento apenas à partícula próxima que está na linha reta traçada do ponto luminoso; mas que ela também o comunica necessariamente a todas as outras que a tocam, e que se opõem a seu movimento. De modo que deve ocorrer que em torno de cada partícula se produza uma onda da qual essa partícula seja o centro. Assim **[figura 2]**, se *DCF* é uma onda emanada do ponto luminoso *A*, que é seu centro; a partícula *B*, uma das que estão compreendidas na esfera *DCF*, produzirá sua onda

particular *KCL*, que tocará a onda *DCF* em *C*, no mesmo momento em que a onda principal, emanada do ponto *A*, tenha chegado a *DCF*. É claro que a onda *KCL* tocará a onda *DCF* apenas no lugar *C*, que está na reta traçada por *A* e *B*. Da mesma forma as outras partículas compreendidas na esfera *DCF*, como *bb*, *dd*, etc., terão cada uma produzido sua onda. Mas cada uma dessas ondas não pode ser senão infinitamente fraca comparada à onda *DCF*, para cuja composição todas as outras contribuem pelas partes de suas superfícies que estão mais afastadas do centro *A*.

Figura 25

[...] Para chegar às propriedades da luz, notemos primeiramente que cada parte da onda deve se propagar de modo que as extremidades estejam sempre compreendidas entre as mesmas retas traçadas do ponto luminoso. Assim, a parte da onda BG , que tem o ponto luminoso A por centro, se propagará no arco CE , terminado pelas retas ABC , AGE . Embora as ondas particulares produzidas pelas partículas compreendidas pelo espaço CAE se espalhem também fora desse espaço, elas só concorrem no mesmo instante para compor juntas uma onda que limite o movimento na circunferência CE , que é sua tangente comum.

Daqui se vê a razão pela qual a luz não se espalha senão por linhas retas - a menos que seus raios sejam refletidos ou rompidos - de modo que ela não ilumina um objeto a não ser quando o caminho desde sua fonte até esse objeto está aberto segundo tais linhas. Caso, por exemplo, houver uma abertura BG , limitada por corpos BH , GI , a onda de luz que sai do ponto A terminará sempre pelas retas AC , AE , como acabamos de demonstrar. As partes das ondas particulares que se propagam fora do espaço ACE são fracas demais para aí produzir luz.

Ora, por menor que façamos a abertura BG , sempre haverá a mesma razão para fazer passar a luz entre linhas retas; pois essa abertura é sempre suficientemente grande para conter um grande número de partículas da matéria etérea, que são de um tamanho inconcebivelmente pequeno. Assim, parece que cada pequena parte da onda avança necessariamente seguindo a linha reta que vem do ponto brilhante. E é assim que podem tomar os raios de luz como se fossem linhas retas [...].

SOBRE A REFLEXÃO

Tendo explicado os efeitos das ondas de luz que se propagam em uma matéria homogênea, examinaremos em seguida o que lhes acontece ao encontrarem outros corpos. Mostraremos primeiramente como se explica a reflexão da luz por essas

mesmas ondas, e por que ela conserva a igualdade dos ângulos.

Seja uma superfície plana e polida **[figura 3]**, de algum metal, vidro ou outro corpo, AB , que inicialmente considerarei como perfeitamente unida (reservar-me-ei a falar das desigualdades de que ela não pode estar isenta ao fim desta demonstração). Uma linha AC , inclinada em relação à AB , representa uma parte de uma onda de luz, cujo centro esteja tão longe que essa parte AC possa ser considerada como uma linha reta; pois considero tudo aqui como em um único plano, imaginando que o plano em que está essa figura corta a esfera da onda por seu centro, e o plano AB em ângulo reto – e é suficiente adverti-lo de uma vez por todas.

Figura 26

O ponto C da onda AC , em um certo espaço de tempo, terá avançado até o plano AB no ponto B , seguindo a reta CB , que se deve imaginar proveniente do centro luminoso, e que conseqüentemente é perpendicular a AC . Ora, nesse mesmo espaço de

tempo, o ponto A da mesma onda, que foi impedido de comunicar seu movimento para além do plano AB , pelo menos em parte, deve ter continuado seu movimento na matéria que está acima desse plano, e isso em um alcance igual a CB , produzindo sua onda esférica particular, segundo o que foi dito acima. Essa onda é representada aqui pela circunferência SNR , cujo centro é A e cujo semidiâmetro AN é igual a CB .

Considerando-se em seguida os outros pontos H da onda AC , nota-se que eles não apenas terão chegado à superfície AB por retas HK paralelas a CB , mas além disso terão gerado ondas esféricas particulares do centro K , no diáfano, representadas aqui pelas circunferências cujos semidiâmetros são iguais a KM , quer dizer, às continuações de HK até a reta BG paralela a AC . Porém todas essas circunferências possuem por tangente comum a linha reta BN , ou seja, a mesma que se traçou de B tangente ao primeiro desses círculos, cujo centro era A e cujo semidiâmetro AN é igual a BC , como é fácil ver.

Porém todas essas circunferências possuem por tangente comum a linha reta BN , ou seja, a mesma que se traçou de B tangente ao primeiro desses círculos, cujo centro era A e cujo semidiâmetro AN é igual a BC , como é fácil ver.

A linha BN (compreendida entre B e o ponto N onde cai a perpendicular do ponto A) é, por assim dizer, formada por todas essas circunferências, e limita o movimento que se fez pela reflexão da onda AC ; e é também o lugar onde esse movimento se encontra em quantidade bem maior do que em qualquer outro. É por isso, segundo o que foi explicado, que BN é a propagação da onda AC no momento em que o ponto C tiver chegado a B . Pois não existe outra linha que, como BN , seja tangente comum de todos os acima citados círculos, a não ser BG , abaixo do plano AB – a qual seria a propagação da onda se o movimento tivesse podido propagar-se em uma matéria homogênea à que está acima do plano.

Se quisermos ver como a onda AC chegou progressivamente a BN , basta traçar na mesma figura as retas KO paralelas a BN e as retas KL paralelas a AC . Assim ver-se-á que a onda AC , que era reta, tornou-se partida em todos os OKL

sucessivamente, e que ela se tornou novamente reta em NB .

Ora, daqui surge que o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência. Pois sendo os triângulos ACB e BNA retângulos, e tendo o lado AB comum e o lado CB igual a NA , segue-se que os ângulos opostos a esses lados serão iguais, e portanto também os ângulos CBA e NAB . Mas como CB , perpendicular a CA , indica a direção do raio incidente, também NA , perpendicular à onda BN , marca a direção do raio refletido; portanto, esses raios estão igualmente inclinados em relação ao plano AB [...].

SOBRE A REFRAÇÃO

Para explicar então as razões desses fenômenos **[que envolvem a refração da luz]** segundo nossos princípios, seja a reta AB **[figura 4]**, que representa uma superfície plana, que limita os corpos transparentes que se encontram para C e para N . Quando digo plana, isso não significa uma continuidade perfeita, mas tal como foi entendida tratando da reflexão, e pela mesma razão. Que a linha AC represente uma parte da onda de luz, cujo centro seja suposto tão longo que essa parte possa ser considerada como uma linha reta. O ponto C da onda AC , em certo espaço de tempo, terá avançado até o plano AB , seguindo a reta CB , que se deve imaginar proveniente do centro luminoso, e que conseqüentemente cortará AC em ângulos retos.

Figura 27

Ora, ao mesmo tempo, o ponto *A* teria chegado a *G* pela reta *AG*, igual e paralela a *CB*, e toda a parte da onda *AC* estaria em *GB*, se a matéria do corpo transparente transmitisse o movimento da onda tão depressa quanto o éter. Mas suponhamos que ele transmite esse movimento menos velozmente, por exemplo, de um terço. O movimento terá, portanto se espalhado desde o ponto *A*, na matéria do corpo transparente, por uma distância igual a dois terços de *CB*, fazendo sua onda esférica particular, segundo o que foi dito antes. Essa onda é portanto representada pela circunferência *SNR*, cujo centro é *A*, e seu semidiâmetro é igual a $\frac{2}{3}$ de *CB*. Se considerarmos depois os outros pontos *H* da onda *AC*, aparecerá que ao mesmo tempo em que o ponto *C* chegou a *B*, eles não somente terão chegado à superfície *AB*, por retas *HK* paralelas a *CB*, mas além disso terão gerado, dos

centros K , ondas particulares no **[corpo]** diáfano, representadas aqui por circunferências cujos semidiâmetros são iguais a $2/3$ das linhas KM , quer dizer, aos $2/3$ das continuações de HK até a reta BG ; pois esses semidiâmetros teriam sido iguais aos KM inteiros, se os dois **[corpos]** diáfanos fossem da mesma penetrabilidade. Ora, todas essas circunferências possuem por tangente comum a linha reta BN , que é a mesma que do ponto B tangencia a circunferência SNR , que consideramos primeiramente. É pois fácil ver que todas as outras circunferências vão tocar a mesma reta BN , desde B até o ponto de contato N , que é o mesmo onde cai AN perpendicular sobre BN .

É portanto BN , que é como se fosse formada por pequenos arcos dessas circunferências, que limita o movimento que a onda AC comunicou ao corpo transparente, e é aí que esse movimento se encontra em muito maior quantidade do que em qualquer outra parte. E por isso esta linha, segundo o que foi dito mais de uma vez, é a propagação da onda AC no momento em que seu lugar C chegou a B . Pois não há outra linha abaixo do plano AB que, como BN , seja tangente comum a todas as ondas particulares referidas. Se quisermos saber como a onda AC chegou progressivamente a BN , basta na mesma figura traçar as retas KO paralelas a BN , e todas as KL paralelas a AC . Assim, ver-se-á que a onda CA , de reta, tornou-se quebrada em todos os LKO sucessivamente, e que se tornou novamente reta em BN . Como isso é evidente pelo que já foi demonstrado, não é necessário esclarecê-lo mais.

Ora, na mesma figura, se traçarmos EAF , que corta o plano AB em ângulos retos no ponto A , e se AD for perpendicular à onda AC , DA marcará o raio de luz incidente, e AN , que é perpendicular a BN , o raio desviado; pois os raios não são senão as linhas retas segundo as quais as partes das ondas se propagam.

Daí é fácil reconhecer essa propriedade principal das refrações, ou seja, que o seno do ângulo DAE possui sempre uma mesma razão para o seno do ângulo NAF , qualquer que seja a inclinação do raio DA , e essa razão é a mesma que a da

velocidade das ondas no **[corpo]** diáfano que está para AE , para sua velocidade no diáfano que está para AF . Considerando AB como raio de um círculo, o seno do ângulo BAC é BC , e o seno do ângulo ABN é AN . Mas o ângulo BAC é igual a DAE ; pois cada um deles, adicionado a CAE , forma um ângulo reto. E o ângulo ABN é igual a NAF , uma vez que cada um deles forma com BAN um ângulo reto. Portanto, o seno do ângulo DAE está também para o seno de NAF como BC para AN . Mas a razão entre BC e AN era a mesma que a das velocidades da luz na matéria que está para AE e na que está para AF . Portanto, o seno do ângulo DAE está também para o seno do ângulo NAF como as referidas velocidades da luz.

Para ver depois qual deve a refração quando as ondas de luz passam para um corpo onde o movimento se propaga mais depressa do que naquele de onde saem (coloquemos, por exemplo, na razão de 3 para 2) não é preciso senão repetir a mesma construção e demonstração que acabamos de fazer, substituindo apenas sempre $3/2$ no lugar de $2/3$. Encontrar-se-á, pelo mesmo raciocínio, nesta outra figura **[figura 5]**, que quando o ponto C da onda AC tiver chegado à superfície AB em B , toda a parte da onda AC terá avançado para BN , de modo que BC , perpendicular a AC , esteja para AN , perpendicular a BN , como 2 para 3. E que essa mesma razão de 2 para 3 será enfim a do seno do ângulo EAD para o seno do ângulo FAN .

Figura 28

Daqui se vê a reciprocidade das refrações do raio entrando e saindo de um mesmo [corpo] diáfano: se NA , caindo sobre a superfície exterior AB , é desviado em AD , também o raio DA se desviará em AN , ao sair do diáfano.

Vê-se também a razão de um notável acidente que ocorre nessa refração: após uma certa obliquidade do raio incidente DA , ele passa a não poder penetrar no outro diáfano. Se o ângulo DAQ ou CBA for tal que no triângulo ACB , CB sendo igual a $2/3$ de

AB , ou maior, então NA não pode ser um lado do triângulo ANB , pois seria igual ou maior do que AB . Assim, a parte da onda BN não se encontra em parte nenhuma, nem conseqüentemente AN , que lhe deveria ser perpendicular. Assim, o raio incidente DA não penetra a superfície AB .

ISAAC NEWTON

"Óptica" (1704) - Trechos selecionados*

NOTA À PRIMEIRA EDIÇÃO

Parte do discurso que segue foi escrita a pedido de alguns cavalheiros da Royal Society no ano de 1675; enviada ao seu secretário, foi lida em suas reuniões; o restante foi acrescentado cerca de doze anos depois para completar a teoria, com exceção do terceiro livro e da última proposição do segundo, que só depois foram compilados a partir de trabalhos esparsos. Para evitar participar de disputas nestes assuntos, até agora tenho atrasado a impressão e ainda o estaria fazendo se a insistência dos amigos não tivesse prevalecido sobre mim. Se quaisquer outros trabalhos sobre este assunto saíram de minhas mãos, são imperfeitos e talvez tenham sido escritos antes de eu ter feitos todas as experiências aqui mencionadas e antes de haver satisfeito completamente a mim mesmo no tocante às leis das refrações e da composição de cores. Publico, agora, o que acho apropriado para vir a público e desejo que não seja traduzido para outro idioma sem o meu consentimento. [...]

LIVRO I

PARTE 1

* Livro traduzido por André K. T. Assis e publicado pela Editora EdUSP em 1996. Os trechos em negrito entre colchetes foram adicionados por Breno Arsioli Moura.

Meu objetivo neste livro não é explicar as propriedades da luz por hipóteses, mas propô-las e prová-las pelo raciocínio e por experiências, para o que tomarei como premissas as definições e os axiomas que se seguem.

Definição I

Por raios de luz entendo as partes mínimas da luz e as que tanto são sucessivas nas mesmas linhas como simultâneas em várias linhas.

Pois é evidente que a luz consiste em partes, tanto sucessivas como contemporâneas, porque no mesmo lugar podemos deter a que chega em dado momento e deixar passar a que chega imediatamente depois; e ao mesmo tempo podemos detê-la em qualquer lugar e deixá-la passar em qualquer outro. Pois a parte da luz que foi detida não pode ser a mesma que deixamos passar. Denomino raio de luz a menor luz ou a menor parte da luz que pode ser detida isoladamente, sem o restante da luz, ou propagando sozinha, ou fazer ou sofrer qualquer coisa sozinha, que o restante da luz não faz ou não sofre.

Denificação II

A refringência dos raios de luz é a tendência de serem refratados ou desviados da trajetória quando passam de um corpo ou meio transparente para outro. E uma refringência maior ou menos dos raios é a tendência de se desviarem em maior ou menor grau da sua trajetória em incidências semelhantes no mesmo meio.

Normalmente os matemáticos consideram os raios de luz como linhas que se estendem do corpo luminoso para o corpo iluminado, e a refração desses raios como a curvatura ou interrupção dessas linhas quando passam de um meio para outro. E com isso os raios e as refrações podem ser considerados como tais se a luz fosse propagada em um instante. Mas por um argumento tirado das equações das épocas dos eclipses dos *satélites de Júpiter*, parece que a luz se propaga no tempo e gasta cerca de sete para vir do Sol até nós; em consequência disso preferi definir os raios e as refrações em termos gerais que possam concordar com a luz em ambos os casos.

Proposição 1. Teorema 1

As luzes que diferem em cor diferem também em graus de refringência

Demonstração por experiências

Experiência 1. Tomei um pedaço retangular de cartão preto terminado por lados paralelos, e com uma linha reta perpendicular de um lado ao outro dividi-o em duas partes iguais passando uma reta perpendicular de um lado ao outro. Pinte uma das partes com cor vermelha e a outra com uma cor azul. O papel era bem preto, e as cores foram aplicadas em camadas espessas e intensas para que o fenômeno pudesse ser mais patente. Olhei o cartão por um prisma de vidro sólido, cujos dois lados através dos quais a luz passava para os olhos eram planos e bem polidos, abrangendo um ângulo de aproximadamente 60 graus, ângulo que denomino ângulo refrator do prisma. E, enquanto olhava o cartão, segurei-o juntamente com o prisma diante de uma janela de forma que os lados do papel ficassem paralelos ao prisma; esses dois lados e o prisma ficaram paralelos ao horizonte e a reta

perpendicular também ficou paralela a ele: e a luz que incidiu da janela do papel formou com este um ângulo igual ao ângulo que se formou com o mesmo papel pela luz refletida dele para o olho. Depois do prisma, a parede da sala sob a janela estava coberta com um pano preto, e o pano estava envolvido na escuridão, de forma que nenhuma luz poderia ser refletida de lá, luz essa que ao passar pelas bordas do papel para o olho poderia misturar-se com a luz do papel e obscurecer o fenômeno dessa luz. Com estas coisas assim ordenadas, verifiquei que, quando o ângulo refrator do prisma é girado para cima, o papel pode parecer que está deslocado para cima pela refração, com a metade azul mais elevada pela refração do que a metade vermelha. Mas, se o ângulo refrator do prisma for girado para baixo, de tal forma que o papel possa parecer que foi abaixado pela refração, a metade azul fica um pouco mais deslocada para baixo do que a metade vermelha. Onde concluí que nos dois casos a luz que vem da metade azul do papel através do prisma até o olho sofre, nas mesmas circunstâncias, uma refração maior do que a luz que vem da metade vermelha, e em consequência disso se refrata mais.

Figura 29

Proposição 2. Teorema 2

A luz do sol consiste em raios que se refratam diferentemente.

PARTE 2

Proposição 10. Problema 5

Explicar as cores permanentes dos corpos naturais a partir das propriedades descobertas da luz.

Essas cores decorrem do fato de certos corpos naturais refletirem certas espécies de raios, enquanto outros [refletem] outras espécies mais abundantemente do que o restante. O zarcão reflete os raios menos refratáveis ou produtores de vermelho mais abundantemente, e por isso aparece vermelho. As violetas refletem os raios mais refratáveis mais abundantemente e por isso têm sua cor, e assim com os outros corpos. Todo corpos reflete os raios de sua própria cor mais abundantemente do que o restante, e de seu excesso e predominância na luz refletida resulta a sua cor.

LIVRO II

PARTE 1

Observações concernentes às reflexões, refrações e cores dos corpos transparentes delgados

Foi observado por outros que as substâncias transparentes (como vidro, água, ar etc.), quando se tornam muito finas ao serem sopradas em bolhas, ou quando são de outra maneira transformadas em lâminas, exibem várias cores de acordo com suas várias espessuras, embora com uma espessura maior elas apareçam muito mais claras e incolores. No Livro I absteve-me de tratar dessas cores porque pareciam mais difíceis de considerar e não eram necessárias para estabelecer as propriedades da luz ali discutidas. Mas como elas podem levar a outras descobertas para completar a teoria da luz, especialmente quanto à constituição das partes dos corpos naturais, das quais dependem suas cores ou transparência, faço aqui um exame delas. Para tornar este discurso breve e claro, descrevi primeiro o essencial das minhas Observações e depois as considerei e fiz uso delas [...].

Observação 4

Para observar mais exatamente a ordem das cores que emergiam dos círculos brancos a medida que os raios se tomavam menos inclinados em relação a lâmina de ar, tomei duas objetivas (uma delas plano-convexa para um telescópio de 14 pés, e a outra uma grande biconvexa para um telescópio de aproximadamente 50 pés) e então, deixando a que tinha o lado plano embaixo, pressionei-as lentamente para fazer as cores emergirem sucessivamente no meio dos círculos; em seguida levantei lentamente o vidro superior para fazê-las desaparecer de novo sucessivamente no mesmo lugar. A cor, que ao pressionar os vidros emergia por último no meio das outras cores, na sua primeira aparição

afigurava-se como um círculo de uma cor quase uniforme desde a circunferência até o centro e, comprimindo-se ainda mais os vidros, tomava-se cada vez mais larga até uma nova cor emergir em seu centro, formando assim um anel cercando essa nova cor. Comprimindo-se os vidros ainda mais, o diâmetro desse anel crescia e a largura de sua órbita ou perímetro decrescia até uma nova cor emergir no centro da última. E assim por diante, até uma terceira, uma quarta, uma quinta e outras cores emergirem ali

sucessivamente, na forma de anéis que cercavam a cor mais interior, a última das quais era a mancha preta. E, pelo contrário, levantando-se o vidro superior, o diâmetro dos anéis decrescia e a largura de suas órbitas aumentava até suas cores atingirem sucessivamente o centro; então, sendo elas de uma largura considerável, podia-se discernir e distinguir mais facilmente do que antes as suas espécies. E desse modo verifiquei que suas sucessões e quantidades eram como segue:

A mancha central transparente produzida pelo contado dos vidros sucediam-se o azul, o branco, o amarelo e o vermelho. O azul era em quantidade tão pequena que não era possível discerni-lo nos círculos produzidos pelos prismas, nem pude distinguir nele nenhum violeta, mas o amarelo e o vermelho eram bem abundantes e pareciam quase tão extensos quanto o branco e quatro ou cinco vezes mais do que o azul. O próximo circuito em ordem de cores que cercavam imediatamente estas era composto de violeta, azul, verde, amarelo e vermelho; e todas essas cores eram abundantes e vívidas, excetuado o verde, que era em quantidade muito pequena e parecia muito mais fraco e diluído do que as outras cores. Das quatro cores resultantes, o violeta era o de menor extensão, e o azul menor que o amarelo ou o vermelho. O terceiro circuito ou ordem era composto de púrpura, azul, verde, amarelo e vermelho; aqui o púrpura aparecia mais avermelhado do que o violeta no circuito anterior, e o verde era muito mais nítido, sendo tão vivo e abundante quanto qualquer das outras cores, excetuado o amarelo; mas o vermelho começou a ficar um pouco enfraquecido, tendendo bastante para o púrpura. A este circuito sucedia o quarto, composto de verde e vermelho. O verde era muito abundante e vivo, tendendo em um dos lados para o azul e no outro para o amarelo. Mas nesse quarto circuito não havia nem violeta, nem azul, nem amarelo, e o vermelho era muito imperfeito e turvo. Também as cores seguintes se tornavam cada vez mais imperfeitas e diluídas, até terminar, depois de três ou quatro ciclos, em perfeita brancura. Sua forma, quando os vidros estavam mais comprimidos, de modo a fazer a mancha preta aparecer no centro, está delineada na **[figura 7]**, onde *a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, v, x, y, z* denotam as cores consideradas nesta ordem a partir do centro: preto,

azul, branco, amarelo e vermelho; violeta, azul, verde, amarelo e vermelho; púrpura, azul, verde, amarelo e vermelho; verde e vermelho; azul-esverdeado e vermelho; azul-esverdeado e vermelho pálido; azul-esverdeado e branco-avermelhado.

Figura 30

Observação 5

Para determinar o intervalo dos vidros, ou a espessura do ar interjacente pelo qual cada cor era produzida, medi os diâmetros dos primeiros seis anéis na parte mais lúcida de suas órbitas e, elevando-os ao quadrado, verifiquei que seus quadrados estavam na progressão aritmética dos números ímpares, 1, 3, 5, 7, 9, 11. E, como um desses vidros era plano e o

outro esférico, seus intervalos nesses anéis deviam estar na mesma progressão. Medi também os diâmetros dos anéis escuros ou fracos entre as cores mais lúcidas e verifiquei que seus quadrados estavam na progressão aritmética dos números pares, 2, 4, 6, 8, 10, 12. E, sendo muito difícil e sutil fazer essas medidas com exatidão, repeti-as diversas vezes em várias partes dos vidros, de modo que sua concordância pudesse confirmá-las [...].

Observação 15

Esses anéis não eram de várias cores, como os produzidos ao ar livre **[Newton iluminou o conjunto de lentes com luz monocromática]**, mas apareciam por toda parte apenas na cor prismática pela qual eram iluminados. E, projetando as cores prismáticas imediatamente sobre os vidros, verifiquei que a luz que incidia sobre os espaços escuros que estavam entre os anéis coloridos era transmitida através dos vidros sem nenhuma variação de cor. Por um papel branco colocado atrás ela comporia anéis com a mesma cor dos que eram refletidos e com o tamanho dos seus espaços imediatos. E disso se evidencia a origem desses anéis; a saber, que o ar entre os vidros, de acordo com sua espessura variada, está disposto em alguns lugares para refletir – e em outros para transmitir – a luz de qualquer cor [...] **[figura 8]** e no mesmo lugar para refletir a luz de uma cor onde ele transmite a de uma outra cor.

Figura 31

Observação 17

Se se assoprar uma bolha com água misturada com um pouco de sabão, é comum observar que passado um momento ela se tingirá de uma grande variedade de cores. Para evitar que essas bolhas sejam agitadas pelo ar externo (pelo qual suas cores se modificam irregularmente entre si, de modo que nenhuma observação acurada pode ser feita), tão logo assoprava uma delas eu a cobria com um vidro transparente e com isso suas cores emergiam numa ordem muito regular, semelhando anéis concêntricos que cercavam o topo da bolha. E, à medida que a bolha se adelgaçava pela descida contínua da água, esses anéis dilatavam-se lentamente e se espalhavam por toda a bolha, descendo em certa ordem até a base dela, onde desapareciam sucessivamente. Entrementes, depois de todas as cores terem aparecido no topo, crescia no centro dos anéis uma pequena

mancha preta redonda, como na Observação 1, que se dilatava continuamente até atingir algumas vezes uma extensão superior a $\frac{1}{2}$ ou $\frac{3}{4}$ de polegada antes de a bolha estourar. A princípio pensei que não havia luz refletida da água nesse lugar, mas observando mais cuidadosamente, vi dentro dele várias manchas redondas menores que pareciam muito mais pretas e escuras do que o restante, depreendendo daí que houvera alguma reflexão nos lugares que não eram tão escuros como essas manchas. E, por uma tentativa adicional, descobri que podia ver a imagem de alguns objetos (como uma vela ou o sol) refletida muito fracamente a partir não apenas da grande mancha preta mas também das manchas pequenas mais escuras que estavam dentro dela.

Além dos já citados anéis coloridos, apareciam frequentemente pequenas manchas de cores que subiam e desciam nos lados da bolha, em razão de algumas desigualdades na descida da água. E algumas vezes pequenas manchas pretas geradas nos lados subiam até a maior mancha preta no topo da bolha e se uniam a ela.

PARTE 3

Proposição 5

As partes transparentes dos corpos, de acordo com seus vários tamanhos, refletem raios de uma cor e transmitem os de outra cor pela mesma razão por que a lâminas finas ou as bolhas refletem ou transmitem esses raios. E considera esta a razão de todas as suas cores.

Pois se um corpo adelgaçado ou laminado – que, sendo de uma espessura uniforme, aparece em toda parte com uma cor uniforme – for fendido em fios ou dividido em fragmentos da mesma espessura que a lâmina, não vejo por que cada fio ou fragmento não deva conservar a sua cor; e, em consequência, por que uma pilha desses fios ou fragmentos não deva constituir uma massa ou pó da mesma cor que a lâmina exhibia antes de ter sido fragmentada. E as partes de todos os corpos naturais, sendo similares aos fragmentos de uma lâmina, devem, pela mesma razão, exhibir as mesmas cores.

Proposição 7

A grandeza das partes componentes dos corpos naturais pode ser conjecturada por suas cores.

Proposição 12

Todo raio de luz, em sua passagem através de qualquer superfície refratora, assume uma certa constituição ou estado transitório que ao longo da trajetória do raio retorna em intervalos iguais e faz com que em cada retorno o raio tenda a ser facilmente transmitido através da próxima superfície refratora e, entre os retornos, a ser facilmente refletido por ela.

Isto de evidencia pelas Observações 5, 9, 12 e 15. Pois essas observações mostram que uma espécie de raio, incidindo em ângulos iguais sobre qualquer lâmina fina transparente, é alternadamente refletida e transmitida por muitas sucessões a medida que a espessura da lâmina aumenta numa progressão aritmética dos números 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 etc.; de modo que, se a primeira reflexão (a que produz o primeiro ou mais interno dos anéis de cores ali descritos) se der na espessura 1, os raios serão transmitidos nas espessuras 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 etc. e desse modo produzirão a mancha central e os anéis de luz que aparecem

por transmissão e serão refletidos nas espessuras 1, 3, 5, 7, 9, 11 etc.; produzindo assim os anéis que aparecem por reflexão [...]. Esta reflexão e refração alternada dependem de ambas as superfícies de cada lâmina fina, porque depende de suas distâncias. Pela Observação 21, se molharmos uma ou outra superfície de uma lâmina fina de moscovita, as cores produzidas por essa reflexão e refração alternada tornam-se mais fracas; portanto, elas dependem de ambas as superfícies. Assim, ela se efetua na segunda superfície, pois caso se efetuasse na primeira, antes de os raios chegarem a segunda ela não dependeria desta última. Além disso ela é influenciada por alguma ação ou tendência propagada da primeira para a segunda, porque do contrário na segunda ela não dependeria da primeira. E essa ação ou tendência, em sua propagação, cessa e retoma em intervalos iguais, porque em toda sua trajetória ela faz com que o raio a uma dada distância da primeira superfície tenda a ser refletido pela segunda, e a uma outra a ser transmitido por ela, isso a intervalos iguais e por mudanças inumeráveis. E, como o raio tende para a reflexão nas distâncias 1, 3, 5, 7, 9 etc. e para a transmissão nas distâncias 0, 2, 4, 6, 8, 10 etc. (pois sua transmissão através da primeira superfície ocorre na distância 0 e ele é transmitido através de ambas se suas distâncias forem infinitamente pequenas ou muito menos do que 1), sua tendência a ser transmitido nas distâncias 2, 4, 6, 8, 10 etc. deve ser considerada um retomo a mesma tendência que o raio tinha antes, na distância 0, isto é, na sua transmissão através da primeira superfície refratora. Tudo isto é o que tinha de provar.

Que tipo de ação ou tendência é essa, se consiste num movimento circular ou vibratório do raio, ou do meio, ou de alguma outra coisa, não o indago aqui. Aqueles que se negam a admitir quaisquer novas descobertas, exceto as que conseguem explicar por uma hipótese, poderão supor que, assim como pedras ao cair na água conferem a esta um movimento ondulatório, e assim como todos os corpos produzem vibrações no ar por percussão, assim os raios de luz, chocando-se com qualquer superfície refratora ou refletora, produzem vibrações no meio ou substância refratora ou refletora e, assim fazendo, agitam as partes sólidas

do corpo refrator ou refletor e, agitando-o, fazem com que o corpo se tome momo ou quente; que as vibrações assim produzidas se propagam no meio ou substância refratora ou refletora da mesma maneira que as vibrações se propagam no ar para causar o som e se movem mais rapidamente do que os raios, de modo a ultrapassá-los; e que, quando qualquer raio está naquela parte da vibração que contribui para o seu movimento, ele irrompe facilmente através de uma superfície refratora, mas quando está na parte oposta da vibração, que lhe impede o movimento, é facilmente refletido; e, por conseqüência, que todo raio tende sucessivamente a ser facilmente refletido ou facilmente transmitido por toda vibração que o ultrapassa. Mas se tal hipótese é verdadeira ou falsa é coisa que não considero aqui. Contento-me com a simples descoberta de que os raios de luz tendem alternadamente, por uma ou outra razão, a ser refletidos ou refratados por um grande número de mudanças regulares.

Definição

Chamarei estados de fácil reflexão aos retornos da tendência de qualquer raio para ser refletido; aos de sua tendência para ser transmitido, estados de fácil transmissão; e ao espaço que se sucede entre cada retorno e o retorno seguinte, intervalo de seus estados.

Proposição 13

O motivo pelo qual as superfícies de todos os corpos espessos transparentes refletem parte da luz que sobre eles incide e refratam o restante é que alguns raios, em sua incidência, estão em estados de fácil reflexão e outros em estados de fácil transmissão.

LIVRO III**PARTE 1**

Observações concernentes às inflexões dos raios de luz e às cores assim produzidas.

Grimaldi nos mostrou que, se deixarmos um feixe de luz solar entrar em um quarto escuro através de um orifício minúsculo, as sombras das coisas nessa luz serão maiores do que o seriam se os raios passassem pelos corpos em linhas retas, e que essas sombras têm três franjas, faixas ou fileiras paralelas de luz colorida adjacentes a elas. Mas se o orifício for alargado as franjas se alargarão e se encontrarão umas com as outras, de modo que não será possível distingui-las. Essas sombras e franjas largas têm sido consideradas por alguns como decorrentes da refração ordinária do ar, mas sem um exame adequado do assunto. De fato, as circunstâncias relativas ao fenômeno, até onde me foi dado observar, são as seguintes:

Observação 1

Fiz num pedaço de chumbo um pequeno orifício com um prego cuja largura era a 42° parte de 1 polegada, pois 21 desses pregos reunidos tinham a largura de meia polegada. Através desse orifício deixei entrar em meu quarto escuro um feixe de luz solar e verifiquei que as sombras dos fios de cabelo, linhas, pregos, palhas e substâncias delgadas semelhantes colocadas nesse feixe eram consideravelmente mais largas do que o seriam se os raios de luz passassem por esses corpos em linhas retas. Em particular, um fio de cabelo de uma cabeça humana cuja largura era apenas a 280° parte de 1 polegada, mantido nessa luz à distância de aproximadamente 12 pés do orifício, projetava uma sombra que à distância de 4 polegadas do cabelo tinha a largura

de uma 60ª parte de 1 polegada (isto é, mais de quatro vezes mais larga do que o cabelo), e à distância de 2 pés do cabelo tinha aproximadamente a largura da 28ª parte de 1 polegada (isto é, dez vezes mais larga do que o cabelo), e à distância de 10 pés tinha a largura da 8ª parte de 1 polegada (isto é, 35 vezes mais larga do que o cabelo).

Não importava que o cabelo fosse cercado com ar ou com qualquer outra substância transparente. Pois molhei uma lâmina polida de vidro e coloquei o cabelo na água sobre o vidro, e em seguida, colocando outra lâmina polida de vidro sobre ele, de modo que a água pudesse encher completamente o espaço entre os vidros, mantive-os no feixe de luz já citado, de modo que a luz pudesse atravessá-los perpendicularmente; e a sombra do cabelo era, à mesma distância, do mesmo tamanho que antes. As sombras das ranhuras feitas nas lâminas polidas de vidro eram também muito mais largas do que deveriam ser as nervuras nas lâminas polidas de vidro também projetavam sombras largas semelhantes. Assim, a grande largura dessas sombras procede de alguma outra causa que não a refração do ar.

[...] Quando fiz as observações precedentes, tinha a intenção de repetir a maioria delas com mais cuidado e exatidão e de fazer algumas novas para determinar a maneira como os raios de luz se curvam ao passar perto dos corpos para produzir as franjas de cores com as linhas escuras entre elas. Mas fui então interrompido e não posso pensar agora em submeter essas coisas a novas considerações. E, como não terminei essa parte do meu projeto, concluirei propondo apenas algumas questões, na expectativa de que uma pesquisa adicional seja feita por outros.

Questão 1. Os corpos não agem sobre a luz a distância e, por sua ação, não curvam os seus raios? E essa ação (*coeteris paribus*) não é mais forte na distância menor?

Questão 5. Os corpos e a luz não agem mutuamente um sobre o outro, quer dizer, os corpos sobre a luz ao emití-la, refleti-la, refratá-la e inflecti-la, e a luz sobre os corpos ao aquecê-los e ao imprimir em suas partes um movimento vibratório no qual consiste o calor?

Questão 27. Não são errôneas todas as hipóteses até aqui inventadas para explicar os fenômenos da luz por novas modificações dos raios? Pois esses fenômenos dependem, não de novas modificações, como se tem suposto, mas das propriedades originais e imutáveis dos raios.

Questão 28. Não são errôneas todas as hipóteses segundo as quais a luz consistiria em pressão ou movimento propagados através de um meio fluido? Pois em todas essas hipóteses os fenômenos da luz têm sido explicados até aqui supondo-se que eles resultam de novas modificações dos raios, o que é uma suposição errônea [...].

Questão 29. Os raios de luz não são corpos minúsculos emitidos pelas substâncias que brilham? Pois tais corpos atravessarão meios uniformes em linhas retas sem se curvar em direções à sombra, o que é da natureza dos raios de luz. Também serão capazes de possuir várias propriedades, e de conservar imutáveis suas propriedades ao atravessar vários meios, o que é outra condição dos raios de luz [...].

Questão 31. Não têm as pequenas partículas dos corpos certos poderes, virtudes ou forças por meio dos quais elas agem a distância não apenas sobre os raios de luz, refletindo-os, refratando-os e inflectindo-os, mas também umas sobre as outras, produzindo grande parte dos fenômenos da natureza? [...].

THOMAS YOUNG

"Sobre a teoria de luz e cores" (1801)* - Trechos selecionados†

Embora a invenção de hipóteses plausíveis - independente de qualquer conexão com observações experimentais - possa ser de pouco uso na promoção do conhecimento natural, ainda assim a descoberta de princípios simples e uniformes, pelos quais um grande número de fenômenos aparentemente distintos é reduzido a leis coerentes e universais, deve ser sempre considerada importante para o aprimoramento do intelecto humano.

O objeto da presente dissertação não é tanto propor quaisquer opiniões inteiramente novas, mas se referi a algumas teorias que já avançaram [...], corroborá-las com evidências adicionais e aplicá-las a um grande número de fatos diversificados, os quais até agora têm permanecido na escuridão. Da mesma forma, não é absolutamente necessário neste trabalho produzir um único novo experimento; pois de experimentos já há uma ampla variedade [...]; entretanto, alguns fatos, ainda não observados, serão trazidos à tona, no sentido de mostrar sua perfeita concordância com aquele sistema‡ com os diversos fenômenos da natureza [...].

* Trechos traduzidos livremente por Breno Arsoli Moura a partir do original "The bakerian lecture. On the theory of light and colours", publicado nas *Philosophical Transactions* em 1801.

† Neste trabalho, Young utilizou diversas passagens dos trabalhos de Newton para construir sua argumentação. Por esta razão, em muitos trechos haverá referências sobre algumas ideias newtonianas. (N.T.)

‡ Young se refere ao sistema ondulatório para a luz. (N.T.)

HIPÓTESE I

Um éter luminífero, altamente rarefeito e elástico, permeia o Universo.

HIPÓTESE II

Ondulações são excitadas neste éter sempre que um corpo se torna luminoso.

Escólio. Eu uso a palavra ondulação, ao invés de vibração, porque vibração é geralmente entendida como um movimento que continua alternadamente para frente e para trás [...], mas supõe-se que uma ondulação consiste de um movimento vibratório, transmitido sucessivamente através de diferentes partes de um meio, sem qualquer tendência de cada partícula continuar seu movimento, exceto pela consequência da transmissão de sucessivas ondulações[§] [...].

HIPÓTESE III

A sensação de diferentes cores depende das diferentes vibrações excitadas pela luz na retina.

[§] Ou seja, as partículas permanecem nas suas posições de origem, se movimentando apenas no momento em que a ondulação as atinge. (N.T.)

HIPÓTESE IV

Todos os corpos materiais têm uma atração pelo meio etéreo, pela qual este é acumulado dentro de sua substância e com pequena distância entre eles, num estado de alta densidade, mas de baixa elasticidade.

PROPOSIÇÃO I

Todos os impulsos são propagados em um meio elástico homogêneo com iguais velocidades.

PROPOSIÇÃO II

Uma ondulação originada da vibração de uma única partícula, deve se expandir através de um meio homogêneo em uma forma esférica, mas com diferentes quantidades de movimento em diferentes partes.

PROPOSIÇÃO III

Uma porção da ondulação esférica, ao entrar por uma abertura em um meio em repouso, será propagada retilinearmente em superfícies concêntricas, terminadas lateralmente por porções fracas e irregulares das ondulações recém-divergentes [figura 9].

Figura 32

PROPOSIÇÃO IV

Quanto uma ondulação atinge uma superfície que limita dois meios de densidades diferentes ocorre uma reflexão parcial, proporcional à intensidade da diferença de densidades.

PROPOSIÇÃO V

Quando uma ondulação é transmitida através de uma superfície entre dois meios diferentes, ela procede em uma direção tal que os senos dos ângulos de incidência e refração estão na razão constante da velocidade de propagação nos dois meios.

PROPOSIÇÃO VI

Quando uma ondulação atinge a superfície de um meio mais rarefeito tão obliquamente que ela não possa ser regularmente refratada, ela é totalmente refletida, em um ângulo igual ao de sua incidência.

PROPOSIÇÃO VIII

Quando duas ondulações, partindo de diferentes origens, coincidem perfeitamente ou muito proximamente em direção, seus efeitos conjuntos são uma combinação de movimentos pertencentes a cada uma.

THOMAS YOUNG

Sequência de aulas sobre filosofia natural e artes mecânicas

(1807)⁵⁵

LEITURA XXXIX

Interferência da Luz

Supondo que a luz de qualquer cor consista em ondulações, de uma dada largura, ou de uma dada frequência, segue que essas ondulações devem ser responsáveis por aqueles efeitos já examinados no caso das ondas na água e dos pulsos do som. Foi mostrado que duas seqüências iguais de onda, procedendo de centros próximos, podem destruir os efeitos de cada uma em certos pontos, e em outros pontos, dobrá-los; a pulsação de dois sons tem sido explicada a partir de uma interferência similar. Vamos agora aplicar os mesmos princípios a união e extinção alternada das cores.

Para que os efeitos de duas porções de luz possam se combinados, é necessário que elas partam da mesma origem, e que elas cheguem no mesmo ponto por caminhos diferentes, em direções que não desviem muito uma da outra. Esse desvio pode ser produzido em uma ou ambas as porções por difração, reflexão, refração, ou por qualquer combinação desses efeitos: mas o caso

⁵⁵ Trechos traduzidos livremente por Breno Arsioli Moura a partir do livro *A course of lectures on natural philosophy and mechanical arts*, publicado em 1807.

mais simples parece ser quando um feixe de luz homogênea atinge um anteparo no qual há dois pequenos buracos ou fendas, que devem ser considerados como centros de divergência, o lugar de onde a luz é difratada em todas as direções. Neste caso, quando os dois novos feixes formados atingem uma superfície que os intercepta, sua luz é dividida por franjas escuras em porções aproximadamente iguais, mas se tornando mais largas a medida que a superfície está mais distante das aberturas de modo a delimitar ângulos semelhantes as aberturas em todas as distâncias, e mais largas também na mesma proporção a medida que as aberturas estão próximas uma da outra. O meio das duas porções é sempre luz, e as franjas brilhantes de cada lado estão em distâncias tais que a luz, vindo em direção a elas de uma das aberturas, deve passar através de um espaço maior que aquela que vem da outra [abertura] por um intervalo que é igual a largura de uma, duas, três, ou mais das supostas ondulações, enquanto os espaços escuros entre [as franjas brilhantes] correspondem a uma diferença de metade de uma suposta ondulação, de um e meio, de dois e meio, ou mais.

Figura 33

Apêndice 3

Questionário sobre Natureza da Ciência

Em sua opinião, o que é Ciência?

Este questionário faz parte de um projeto de pesquisa de doutoramento envolvendo professores em formação. O projeto é desenvolvido na Universidade de São Paulo e visa a inserção de história e filosofia da ciência no ensino, particularmente na formação inicial de professores de ciências. Sua opinião é muito importante para este trabalho, então se você se sentir à vontade, agradecemos a sua contribuição!

1. Atualmente podemos dizer que vivemos em uma sociedade que valoriza muito a cultura científica, afinal você já deve ter visto produtos que possuem em seu rótulo a expressão "cientificamente comprovado". Em sua opinião, é possível definir ciência? Em caso afirmativo, qual seria a sua definição? Em caso negativo, o que impede de chegar a essa definição?
2. Em sua opinião é possível diferenciar ciência de religião ou de filosofia? Justifique sua resposta.
3. É comum a divulgação do método científico composto das seguintes etapas: observação de fenômenos naturais, formulação de hipóteses, teste da hipótese através de experimentos, modificação da hipótese em caso de falha nos testes ou, em caso de validação desta, a elaboração de uma teoria. Em sua opinião esse é o único método de fazer ciência? Justifique a sua resposta seja ela afirmativa ou não.
4. Você já deve ter lido sobre os trabalhos experimentais de Newton com os prismas, de Gregor Mendell com as ervilhas, assim como dos trabalhos teóricos de Albert Einstein sobre a teoria da relatividade. Pense nos exemplos citados e em outros que você conheça e diga se, na sua opinião, o uso de experimentos na ciência é essencial. Justifique sua resposta.
5. Um tema muito discutido atualmente é o aquecimento global. Apesar de muitas mudanças no clima já serem sentidas por todos ainda não existe um consenso entre os cientistas sobre as causas dessas mudanças. Um grupo defende que tais mudanças são consequências da interferência do homem na natureza e outro grupo acredita que este é um processo natural e que aconteceria independente da interferência humana. Em sua opinião, é possível que cientistas cheguem a conclusões diferentes a partir de um mesmo conjunto de informações? Justifique sua resposta com algum exemplo.
6. Algumas pessoas afirmam que a Ciência é impregnada por valores sociais e culturais, por exemplo, a regimes políticos, a contextos sociais, a tradições religiosas. Isto é, a

Ciência não é imune às influências externas. Outras pessoas afirmam que a Ciência é universal e neutra, ou seja, independe das fronteiras nacionais e culturais e não é afetada por valores sociais, políticos e filosófico. Se você acredita que a ciência reflete valores sociais e culturais, explique por que e como ocorre essa influência. Se você acredita que a ciência é universal, explique por que e como. Se possível, cite alguns exemplos para justificar sua resposta, em qualquer um dos casos.

7. Após os cientistas terem desenvolvido uma teoria científica (por exemplo, a teoria da quântica, a teoria atômica, a teoria da evolução), essa teoria pode ser modificada depois? Se você acredita que as teorias científicas permanecem inalteradas ao longo dos anos, justifique sua resposta com alguns exemplos. Se você acredita que as teorias científicas são modificadas, explique por que isso acontece.

Apêndice 4

Questionário sobre a utilização da História da Ciência no Ensino

História da Ciência em sala de aula

A inclusão de conteúdos de História da Ciência não é uma tarefa tão trivial quanto possa parecer. Ter um objetivo pedagógico e conhecer o público-alvo são alguns dos pontos fundamentais para o bom sucesso da(s) atividade(s) envolvendo História da Ciência. Baseando-se nas discussões feitas em sala de aula, responda às questões abaixo.

Questão 1) Você consideraria incluir conteúdos de História da Ciência em suas aulas?

☐	SIM
☐	NÃO

Justifique brevemente sua resposta.

Questão 2) Independente da resposta da Questão 1 (sim ou não), argumente abaixo sobre como você incluiria conteúdos históricos em uma aula voltada ao Ensino Médio. Sinta-se livre para escolher um assunto como exemplo (mecânica, eletromagnetismo etc.).

Apêndice 5

Questionário final de avaliação

EDP V – Avaliação

As questões abaixo têm a intenção de traçar um panorama da disciplina “Estudos e Desenvolvimento de Projetos V”, identificando seus aspectos positivos e negativos. Sejam os mais sinceros e claros nas respostas, pois elas contribuirão para o aprimoramento da proposta de ensinar História da Ciência para professores em formação. Lembre-se: não é necessário identificar-se.

Questão 1) Em sua opinião, a discussão de **conceitos físicos** incluídos nos episódios históricos foi importante para as aulas? Se sim ou se não, explique.

Questão 2) Em sua opinião, a discussão de alguns **aspectos experimentais** incluídos nos episódios históricos foi importante para as aulas? Se sim ou se não, explique.

Questão 3) Em sua opinião, a discussão **explícita de aspectos da Natureza da Ciência** incluídos nos episódios históricos foi importante para as aulas? Se sim ou se não, explique.

Questão 4) Em sua opinião, a **elaboração de um material didático utilizando História da Ciência** foi relevante para as aulas? Se sim ou se não, explique.

Questão 5) Em sua opinião, a disciplina “Estudos e Desenvolvimento de Projetos V” foi importante para sua formação profissional e pessoal? Se sim ou se não, explique.

Apêndice 6

Entrevista realizada com os licenciandos

As perguntas de 1 a 5 tiveram a intenção de avaliar a metodologia da Abordagem Multicontextual da História da Ciência. As perguntas de 6 a 13 tiveram a intenção de avaliar se a formação crítica foi desenvolvida a partir desta metodologia.

1. *Seis meses depois do fim de EPD V, o que você pode dizer que mais marcou na disciplina?*
2. *Como você avalia o modo como a disciplina foi ministrada?*
3. *Como você avalia o modo como os episódios históricos foram discutidos, levando em conta questões científicas, metacientíficas e pedagógicas?*
4. *Em relação a sua afinidade com História da Ciência, como você avalia sua aptidão para trabalhar com conteúdos históricos em sala de aula?*
5. *Como você avalia a tarefa de ter elaborado um material didático?*
6. *Você se considera um indivíduo que tem senso crítico?*
7. *Como você avalia a contribuição de EDP V no seu posicionamento diante de questões relacionadas à Física e à Educação?*
8. *Como você avalia a contribuição de EDP V para a sua percepção de que será um educador?*
9. *Como você avalia a contribuição de EDP V para a construção de um diálogo entre a Física e outras áreas da Ciência?*
10. *Como você avalia a contribuição de EDP V para o entendimento da Física como conhecimento construído historicamente?*
11. *Como você avalia a contribuição de EDP V na integração dos conhecimentos da Física com os conhecimentos pedagógicos?*
12. *Você acredita que EDP V contribuiu para torná-lo um professor mais crítico?*
13. *De forma geral, você considera que EDP V foi uma disciplina relevante em sua formação como professor de Física?*