UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Física, Instituto de Química,
Instituto de Biociências e Faculdade de Educação

WINSTON GOMES SCHMIEDECKE

**A história da ciência nacional na formação e na prática
de professores de Física**

São Paulo

2016

FEUSP

WINSTON GOMES SCHMIEDECKE

**A história da ciência nacional na formação e na prática
de professores de Física**

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

Versão original da tese.

Área de Concentração: Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alves Porto

**São Paulo
2016**

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

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

Schmiedecke, Winston Gomes

A história da ciência nacional na formação e na prática de professores de Física. São Paulo, 2016.

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

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alves Porto

Área de Concentração: Ensino de Física.

Unitermos: 1. Física – Estudo e ensino; 2. História da Ciência;
3. Formação de professores; 4. Ciência nacional; 5. Energia nuclear.

USP/IF/SBI-009/2016

A **Carolina Schmiedecke** e a **Fernanda Marcogliese**,
representantes autênticas de uma geração de mulheres
que dedicaram suas vidas a tornar minha existência
algo bem mais que suportável. E conseguiram.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, meu empregador, por me dispensar das atividades profissionais no período em que mais precisei me dedicar ao processo de elaboração desta tese.

Ao professor Paulo Alves Porto, meu orientador, por mais uma vez aceitar nortear meus pensamentos e minhas ações no meio acadêmico, com o primor e a dedicação que lhe são próprios, mesmo consciente dos “riscos” inerentes a essa escolha.

À Natália, à Cibele e à Letícia, minhas filhas e amores maiores, pelo simples fato de existirem e, cada uma a sua maneira, por manterem viva a história de uma família iniciada ao acaso, mas perpetuada por uma identidade legítima, etérea e indelével.

À Ana Paula, minha namorada, pela inestimável ajuda com o desenvolvimento de vários pontos desta tese e, em especial, por me dar novos motivos para retomar uma estrada em que há tempos eu acreditava não mais poder trilhar.

Aos professores André, Elio, Ivã, Maurício e Lúcia (USP-SP), Bruna, Cezar, Jucivagno, Ligia, Porto, Rocha e Rodigo (IFSP-SP), pela aplicação do questionário inicial utilizado nesta pesquisa, permitindo-me ter acesso a um número expressivo de licenciandos.

À Elizenia e ao Kleber, meus ex-alunos do IFSP-SP, pela colaboração com os delineamentos iniciais do trabalho e com a tabulação dos dados dos questionários, respectivamente, poupando-me tempo e permitindo-me divulgar os resultados parciais desta pesquisa em importantes eventos das áreas de Ensino e História da Ciência.

Aos professores Mario Quintanilla e Carol Joglar, meus colegas de Santiago (Chile), pela determinação inabalável em me ajudar a tentar contornar (sem êxito) a burocracia e os *sui generis* critérios estabelecidos pelo meu programa de pós-graduação visando conceder/direcionar bolsas de estudos oferecidas pela iniciativa privada.

À Cida, minha amiga, pela elaboração do *abstract* deste trabalho, dirimindo minhas dúvidas e atenuando sobremaneira a imoral dificuldade que tenho para me expressar em outro idioma.

Aos membros do GHQ, meu grupo de pesquisa, pela acolhida, compreensão das limitações de um ser oriundo de uma área apenas congênere e aceitação do modo particular como entendo a presença da História da Ciência no Ensino.

Aos participantes do questionário final desta pesquisa, meus ex-alunos do IFSP-SP e hoje professores de Física, que aceitaram o desafio de última hora para avaliar a qualidade e os méritos do material que elaborei, oferecendo-me testemunhos qualificados e imprescindíveis para a legitimação do principal resultado deste trabalho.

Fiz de mim o que não soube,
E o que podia fazer de mim não o fiz.
O dominó que vesti era errado.
Conheceram-me logo por quem não era e não desmenti, e perdi-me.
Quando quis tirar a máscara,
Estava pegada à cara.
Quando a tirei e me vi ao espelho,
Já tinha envelhecido.
Estava bêbado, já não sabia vestir o dominó que não tinha tirado.
Deitei fora a máscara e dormi no vestiário
Como um cão tolerado pela gerência
Por ser inofensivo
E vou escrever esta história para provar que sou sublime.

Álvaro de Campos

Resumo

Schmiedecke, W. G. **A história da ciência nacional na formação e na prática de professores de Física**. 2016. 246 f. Tese (doutorado). Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

As últimas duas décadas testemunharam a gradual difusão de iniciativas destinadas a tornar a História da Ciência uma aliada dos professores de ciências da escola básica interessados em discutir, em suas aulas, aspectos associados à estrutura e ao funcionamento da ciência, em sintonia com os ideais de uma educação crítica, ativa e transformadora. No caso particular da Física, diversos documentos oficiais reforçam essa necessidade, tornando a História da Ciência presente, por exemplo, nas disciplinas dos cursos de licenciatura, nos livros didáticos e em materiais destinados à divulgação científica. Todavia, a História da Ciência, por suas próprias características e particularidades como campo do conhecimento, é caracterizada por um nível de complexidade incompatível com sua apropriação direta e acrítica por parte de alunos e professores. A inobservância desse fato, inclusive no processo de formação dos docentes, é um dos motivos responsáveis pelo fracasso de parte das ações implementadas junto aos alunos do ensino médio. Esta investigação considera que o trabalho com episódios relacionados à história da ciência e da tecnologia nacionais poderia preencher parte das lacunas existentes no processo de formação dos futuros professores, favorecer a prática docente e despertar o interesse desses sujeitos acerca do estado da arte da ciência produzida e praticada no Brasil. Tomando a Moderna Historiografia da Ciência como referencial para dar sustentação às discussões a serem propostas em contextos didáticos, foram elaborados dois materiais: um episódio apresentando uma versão para o histórico da energia nuclear no Brasil; e um conjunto de dez atividades propostas para articular a História da Ciência com outros recursos de reconhecido valor didático. A elaboração desse material foi acompanhada pela aplicação de três questionários: dois respondidos por professores em formação, e outro por recém-formados, sendo que este último grupo avaliou os materiais elaborados. A análise das respostas reforçou o potencial da Moderna Historiografia da Ciência como referencial para a elaboração de materiais aproximando a História da Ciência do ensino de Física, tendo como elemento diferencial as temáticas relacionadas à ciência nacional.

Palavras-chave: Física – estudos e ensino, história da ciência, formação de professores, ciência nacional, energia nuclear.

Abstract

Schmiedecke, W. G. **History of Brazilian science in the education and practice of Physics teachers**. 2016. 246 f. Ph.D thesis. Programa Interunidades em Ensino de Ciências (Graduate Program in Science Education), University of São Paulo, São Paulo, 2016.

The last two decades have witnessed the gradual diffusion of different initiatives to turn the History of Science into an ally for science teachers in elementary and secondary schools. History of Science may help those teachers who are interested in discussing features of science associated with the structure and functioning of science in tune with a critical, active and transformative approach to education in their classes. In the specific case of Physics, several official documents reinforce this need, making History of Science present, for example, in the initial training of teachers, textbooks and materials designed for scientific dissemination. However, due to its own peculiar features as a field of knowledge, History of Science is characterized by a level of complexity which is incompatible with its direct and acritical appropriation by students and teachers. Failure to observe this fact, also present in the process of teacher training, is one of the reasons responsible for the failure of many actions designed to introduce the History of Science in high school. This research is grounded on the premise that working with episodes related to the history of Brazilian science and technology could fill some of the existing gaps in the training of teachers, favor teaching practices, and arise the interest of teachers on the state of the art of science produced and practiced in Brazil. Holding the idea that Modern Historiography of Science is an appropriate strand to support the discussions to be proposed in educational contexts, two materials were elaborated: an episode describing a version for the history of nuclear energy in Brazil, and a set of ten suggested activities to articulate History of Science with other resources of recognized educational value. The elaboration of this material was accompanied by the application of three questionnaires: two of them were answered by pre-service teachers and the other by newly graduated teachers. This last group of participants evaluated the final materials. The analysis of the answers reinforced the potential of Modern Historiography of Science as a support for designing materials approaching History of Science to the teaching of physics, with issues related to national science as a distinctive element.

Keywords: Physics – teaching and studies, history of science, teacher education, national science, nuclear energy.

SUMÁRIO

Introdução	11
Capítulo 1: A Historiografia da Ciência e o Ensino de Física	
1.1 – Vertentes historiográficas em ciência	21
1.1.1 – Antiga historiografia da ciência	26
1.1.2 – Moderna historiografia da ciência	31
1.1.3 – Quadro comparativo das vertentes historiográficas	34
1.2 – História da Ciência como recurso didático no Ensino de Física	35
1.2.1 – O que dizem os documentos oficiais: haveria alguma vertente historiográfica a ser privilegiada?	36
1.2.2 – Entre a escrita e a prática: divergências e entraves	40
1.2.3 – Livros didáticos para o Ensino Médio e a História da Ciência	42
1.2.4 – A História da Ciência e os periódicos da área de Ensino de Física: exemplos extraídos de artigos publicados nas últimas duas décadas	46
1.2.5 – Entre os parâmetros, a catequese e a prática: importância e limites do trabalho com vertentes historiográficas segundo a visão de um grupo de licenciandos	92
Capítulo 2: A formação do licenciando e o valor didático atribuído à História da Ciência	
2.1 – Questionário Diagnóstico (QD): triagem dos sujeitos alinhados com os propósitos da pesquisa	99
2.1.1 – Critérios utilizados na formulação do QD	99
2.1.2 – Tabulação das respostas	104
2.1.3 – Análise das respostas obtidas: justificativas, principais indicativos e prescrições	112
2.2 – Questionário Investigativo (QI): História da Ciência e o processo de formação dos licenciandos em Física	118
2.2.1 – Critérios utilizados na formulação do QI	118
2.2.2 – Tabulação das respostas	121
2.2.3 – Análise das respostas obtidas: principais indicativos e prescrições referentes à escolha dos episódios históricos relacionados à Ciência Nacional	125
Capítulo 3: A História da Ciência Nacional e seu potencial didático na formação de professores de Física	
3.1 – Delimitação da temática	131
3.2 – Episódio elaborado: Acordo Nuclear Brasil – Alemanha Ocidental: antecedentes, controvérsias e desdobramentos	136

3.3 – Detalhamento do episódio histórico exemplar elaborado	154
3.4 – Sugestões de usos do episódio histórico produzido em situações didáticas	159
Capítulo 4: O Questionário Final (QF) e as opiniões de professores recém-formados a respeito do material produzido e seus usos didáticos	
4.1 – A formulação do QF, sua finalidade e os participantes dessa etapa da pesquisa	199
4.2 – A devolutiva dos licenciados	204
4.3 – Categorização e análise das respostas obtidas	211
Considerações Finais	223
Referências	227
Apêndices	
<u>Apêndice A</u> : Questionário Diagnóstico	237
<u>Apêndice B</u> : Questionário Investigativo	241
<u>Apêndice C</u> : Questionário Final	243
<u>Apêndice D</u> : Síntese do texto “Acordo Nuclear Brasil – Alemanha Ocidental: antecedentes, controvérsias e desdobramentos”	245

Introdução

O Visconde escreveu:
MEMÓRIAS DA MARQUESA DE RABICÓ
Agora escreva: Capítulo Primeiro.
O Visconde escreveu e ficou à espera do resto.
Emília, de testinha franzida, não sabia como começar.
– Isso de começar não é fácil. Muito mais simples é acabar. Pinga-se um ponto final e pronto; ou então escreve-se um latinzinho: FINIS. Mas começar é terrível.
Emília pensou, pensou, e por fim disse:
– Bote um ponto de interrogação; ou, antes, bote vários pontos de interrogação. Bote seis...

Memórias da Emília (Monteiro Lobato)

Ainda que movido por objetivos e interesses distintos da mais irrequieta personagem de Monteiro Lobato, em certa medida compactuo com sua angústia por encontrar a forma e o caminho mais adequados e assertivos para iniciar uma narrativa a respeito dos principais resultados de um período de vida de expressiva relevância – e, no meu caso, de intenso trabalho –, cercado por dúvidas das mais diversas naturezas e, de antemão, caracterizado pela ausência de garantias acerca da efetividade dos produtos finais de tal empreitada.

As duas décadas e meia por mim vivenciadas enquanto docente de Física das redes pública e particular de ensino permitiram-me identificar e vivenciar algumas ações isoladas de articulação entre dois campos distintos – a História da Ciência e Ensino de Física –, dando origem, há cerca de dez anos, à pesquisa de mestrado que desenvolvi em um programa específico de história da ciência. Nesse contexto, pude compreendê-la enquanto particular e bem estabelecido ramo do conhecimento, tendo a oportunidade de entrar em contato com seus principais critérios, referenciais teóricos, práticas e metodologias de pesquisa.

Contudo, constatar a importância da história da ciência nas discussões sobre a ciência não foi suficiente para garantir que, munido de mais esse recurso, meu retorno às salas de aula fosse repleto de êxito e realizações. Um reflexo desse fato é evidenciado pelo abismo apartando a história da ciência feita pelos historiadores da leitura que dela fazem os educadores, nos mais diversos níveis. E vice-versa.

Interessado em encontrar formas de viabilizar a utilização da história da ciência enquanto estratégia didático-pedagógica nas aulas de Física, enveredei pela pesquisa que deu origem a este novo trabalho. Para tanto, elegi como palco cursos dessa licenciatura em duas instituições públicas de nível superior, espaços formais de

preparação dos principais atores do trabalho com a Física enquanto disciplina obrigatória das séries do ensino médio: os futuros docentes.

Para justificar essa escolha, considero imperioso descrever, ainda que de forma sucinta, alguns ajustes e modificações que promovi ao longo da trajetória em que se desenvolveu a presente pesquisa. Foram mudanças motivadas pela reflexão cotidiana sobre minha prática docente e, em igual proporção, pela troca de ideias e informações com colegas da área de Ensino de Ciências, seja por ter frequentado disciplinas do Programa enquanto aluno de pós-graduação, seja no contexto de participação em eventos científicos dessa área.

Antes disso, cabe apresentar uma ressalva: minha incursão formal no universo das pesquisas em ensino-aprendizagem de ciências é recente, coincidindo com os pouco mais de seis anos de trabalho como docente do *campus* São Paulo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP-SP).

Nessa instituição 50% (ou mais) das vagas são destinadas para cursos técnicos integrados ao ensino médio, fato que faz o exercício docente ocupar uma posição privilegiada em relação às atividades de pesquisa e extensão. Assim, parece-me natural constatar que as intervenções e asserções por mim descritas neste trabalho sejam muito influenciadas pelo meu olhar de “professor de ciências”, sobrepondo-se às aspirações deste neófito “pesquisador em Ensino de Ciências”. Como a presente investigação versa exatamente sobre a efetividade de determinadas intervenções visando ao aprimoramento de práticas docentes, compreendo meu olhar de educador como um fator de relevância para a qualidade das análises aqui promovidas e, portanto, dos resultados obtidos.

Retomando o fio da meada, na origem desta pesquisa eu pretendia efetuar a leitura das ementas e planos de ensino das disciplinas de cursos de licenciatura em Física oferecidos por algumas Instituições de Ensino Superior (IES) públicas de diversos Estados da Federação. Essa ação visava identificar IES que apresentassem, em suas ementas, informações que me permitissem verificar seu alinhamento com conceitos claramente ligados à história da ciência e, a seguir, confrontar os resultados com a forma pela qual tais conceitos seriam incorporados às ações discriminadas em seus respectivos planos de ensino.

Contudo, um trabalho equivalente foi apresentado por Moura (2012) em sua tese de doutoramento, resultando na elaboração de um quadro construído a partir de informações extraídas dos *websites* oficiais de 12 IES brasileiras. Independentemente de constatar que minha intenção inicial já fora objeto de investigação, uma leitura mais atenta do quadro construído por Moura (2012) – acompanhada pelo contato com

algumas das críticas tecidas pelos membros da banca avaliadora da referida tese – permitiu-me verificar a pouca utilidade dos dados obtidos por meio dessa ação para os fins inicialmente idealizados para minha pesquisa.

Afinal, diversas são as disciplinas em um curso de licenciatura (oficinas de projetos, estágio supervisionado, metodologia de pesquisa etc.) que dão ênfase à prática e à instrumentalização dos futuros professores no tocante às temáticas relativas aos denominados “recursos didático-pedagógicos”. Tampouco é incomum que os docentes responsáveis pelo oferecimento e trabalho com essas disciplinas mudem de semestre para semestre. Assim sendo, os respectivos conteúdos efetivamente desenvolvidos são imprevisíveis, podendo, inclusive, estar relacionados com a história da ciência, mesmo que esta não figure, de maneira formal, nas ementas.

Assim, não considereei possível identificar a realidade da aproximação entre história da ciência e ensino de ciências tomando como referência a simples consulta às ementas, pois todo e qualquer julgamento por mim proferido em relação ao trabalho realizado em uma determinada IES (no caso, envolvendo a história da ciência e baseado naquele tipo de levantamento) estaria fadado à imprecisão, inviabilizando a proposição de generalizações suficientemente fidedignas. Em outras palavras, o levantamento destacado não me ofereceria os indícios necessários para identificar e mais bem compreender as lacunas (e excessos) existentes no processo de formação inicial dos professores com respeito ao trabalho com a história da ciência.

A partir do momento em que a consulta às ementas mostrou-se ineficaz, direcionei minhas atenções para a busca de aspectos motivadores e legitimadores, junto aos licenciandos, da história da ciência enquanto estratégia didático-pedagógica.

Na tentativa de fugir ao lugar-comum ocupado por discussões que justificam a presença da história da ciência nas aulas de ciência da escola básica em função de seu potencial para fomentar o trabalho com aspectos relacionados a elementos filosóficos e epistemológicos – abordagem que entre os acadêmicos atuantes na área de Ensino de Ciências se convencionou chamar pelo termo “Natureza da Ciência” (NdC) –, imaginei a possibilidade de os futuros docentes de Física tomarem contato com o histórico da ciência praticada no Brasil e/ou por brasileiros atuantes mundo afora, levando esse conhecimento para suas salas de aula. Justifico essa opção por considerar pouco efetivos os resultados das pesquisas envolvendo a NdC com as quais tive contato, em particular no sentido proativo de quem quer propor formas concretas de tornar a história da ciência uma aliada viável e efetiva para a prática do ensino de Física na escola básica.

Em paralelo a essas preocupações, acredito na importância de os cursos de formação de professores de ciências oferecem espaços disciplinares que permitam a ampliação do horizonte cultural dos licenciandos, promovendo o posicionamento crítico desses profissionais enquanto participantes de uma cadeia de divulgadores da ciência desenvolvida em seu país, visão corroborada por Hall (2001), ao destacar que

o desenvolvimento histórico das nações fez com que um dos componentes mais importantes do reconhecimento do sujeito, como parte de um grupo maior, vem da sua ligação com a cultura de uma nação (HALL, 2001 *apud* GURGEL e WATANABE, 2010, p. 6).

De maneira mais específica, busquei verificar a pertinência e a legitimidade do uso de episódios selecionados da história da ciência brasileira na formação dos professores de Física, visando à composição de suas futuras ações didáticas. Como referência, utilizei os critérios básicos da contemporânea (ou moderna) historiografia da ciência, em alinhamento com as demandas surgidas no complexo contexto em que ocorrem as intervenções docentes: a sala de aula e seu entorno.

Tal escolha foi efetuada a partir da suspeita de que o reconhecimento do Brasil como uma nação que dispõe atualmente de recursos materiais e humanos de significativo valor em ciência poderia angariar a simpatia, o interesse e a confiança dos futuros professores de Física para se apropriarem dos principais aspectos teóricos e práticos necessários para tornar a história da ciência uma importante aliada na composição de suas ações docentes.

Para isso, haveria a possibilidade de procurar sistematicamente por respostas para formas de superação ou contorno de dificuldades inerentes aos usos da história da ciência no ensino de ciências, tomando como referência os principais obstáculos já reconhecidos e, em especial, os respectivos cuidados a serem tomados (ALLCHIN, 2004; FORATO, 2009; FORATO *et al.*, 2011; SILVA e HÖTTECKE, 2012, dentre outros). Contudo, optei por partir do ponto de vista dos docentes (em um primeiro momento, em formação) a respeito do mérito de tal aproximação, concentrando minhas atenções na instância de formação destes profissionais. Mais particularmente, concentrei-me na constituição de orientações e exercícios voltados a municiar os licenciandos em relação aos usos da história da ciência enquanto estratégia didático-pedagógica.

Cabe aqui uma observação: minha opção por trabalhar no ensino de ciências com episódios e personagens relacionados à ciência predominantemente vinculada a uma nação situada fora do eixo Europa – Estados Unidos não é, em si, uma novidade, encontrando ressonância em iniciativas de outros pesquisadores. Por exemplo, a obra *Química*, dos autores mexicanos A. Garritz e J. A. Chamizo, publicada no Brasil em

2000, é um dos livros didáticos sugeridos nas bibliografias de cursos introdutórios de Química oferecidos por algumas universidades brasileiras. Ainda que esse livro não ocupe, de fato, um lugar de destaque na lista dos mais recomendados/utilizados, é clara a preocupação dos autores com a inserção de conteúdos da história da ciência latino-americana no desenvolvimento dos temas em estudo (Fernandes e Porto, 2012).

Vale enfatizar que, mesmo não se destinando à escola básica e não se configurando como uma obra de Física, esse material poderia eventualmente ser trabalhado em uma disciplina de Química de um curso de licenciatura em Física, permitindo aos futuros professores o contato com uma abordagem histórica dos conteúdos científicos próprios daquela disciplina.

Mas, enfim, além da preocupação com a história, qual seria a relação dessa obra com minha intenção de trabalhar com a chamada “ciência nacional”? Cotejando os aspectos relacionados à abordagem histórica realizada por Garritz e Chamizo (2000) e aquela promovida em outros dois livros didáticos voltados para o mesmo público-alvo, Fernandes e Porto (2012) enfatizam que:

Fugindo à tendência de superficialidade dos outros dois livros, Garritz e Chamizo buscam chamar a atenção e atribuir importância também para cientistas latino-americanos, numa proposta de tentar aproximar os estudantes da ciência que é feita nos países da região (FERNANDES e PORTO, 2012).

De forma análoga, tomei a iniciativa de apostar em nomes ligados ao desenvolvimento da Física no Brasil para fazerem parte da apresentação dos conteúdos específicos dessa ciência em cursos de formação de professores.

Como principal motivação, considere a possibilidade de os licenciandos perceberem seu país como uma nação historicamente engajada em produzir ciência e tecnologia de ponta, cujas conquistas e reveses repercutem de forma direta na qualidade de vida do povo brasileiro.

Ponderações feitas, e após uma profunda reflexão envolvendo os contornos mais adequados a serem traçados no meu trabalho, com o objetivo de implementar e encaminhar minhas ações, elegi dois grupos de questões contemplando as hipóteses norteadoras desta pesquisa.

O primeiro grupo (G1), com ênfase no diagnóstico dos aspectos fundamentais a serem estudados, está comprometido com a identificação da forma pela qual a história da ciência está inserida e é trabalhada nos cursos de licenciatura em Física, influenciando no valor a ela atribuído pelos licenciandos enquanto recurso didático e, principalmente, no quanto tais sujeitos se sentem preparados para incorporá-la às

suas ações docentes. O segundo grupo (G2), de caráter mais prescritivo/propositivo, procura avaliar a pertinência e a eficácia do uso de episódios da ciência nacional na instrumentalização dos licenciandos acerca do uso de alguns dos modernos critérios historiográficos em suas aulas.

Sistematizando essas questões, tem-se:

G1

- ✓ De que forma a história da ciência é trabalhada em cursos de licenciatura em Física e como os licenciados avaliam este trabalho?
- ✓ Os licenciandos em Física valorizam a história da ciência enquanto estratégia didático-pedagógica, considerando-se capacitados a incorporá-la a sua prática profissional?
- ✓ De que maneira a história da ciência poderia compor disciplinas de uma licenciatura em Física para ser valorizada como estratégia didático-pedagógica e, de fato, ser incorporada à prática dos futuros docentes?

G2

- ✓ É pertinente e profícua a inserção de discussões acerca do histórico da ciência nacional nas disciplinas de uma licenciatura em Física?
- ✓ Como o trabalho com episódios da ciência nacional poderia viabilizar a familiarização dos licenciandos em Física com os principais critérios da moderna historiografia da ciência, a serem considerados na formulação de suas aulas?

A busca por respostas para essas questões levou-me a procurar maneiras de conciliar as demandas das duas grandes áreas do conhecimento que dão suporte à pesquisa que desenvolvi – a História da Ciência e o Ensino de Ciências.

Em um primeiro momento, procurei caracterizar as principais vertentes da historiografia da ciência que serviriam de base para a formulação dos materiais de cunho didático mais utilizados pelos educadores em ciências que buscam apropriar-se da história da ciência em seu trabalho.

A seguir, elaborei um breve questionário para ser aplicado a alunos de cursos de licenciatura em Física de duas IES públicas do Estado de São Paulo, com o objetivo de identificar o valor atribuído pelos professores em formação à história da ciência enquanto recurso didático-pedagógico e, em especial, verificar o quanto tais sujeitos enxergam-se, de fato, preparados para utilizá-la em suas aulas.

Com base nas respostas oferecidas pelos licenciandos, selecionei todos os sujeitos que destacaram como “significativa” ou “muito significativa” a importância de se utilizar a história da ciência no ensino de Física mas que, simultaneamente, declararam não se sentir em condições de utilizar essa abordagem em suas aulas.

Na sequência, enviei por e-mail, aos sujeitos selecionados, um *link* para um novo questionário, elaborado e hospedado no Google Docs, com perguntas que me permitissem encontrar caminhos para o reconhecimento das causas geradoras dessa aparente situação contraditória. O questionário também buscava fazer um levantamento das principais dificuldades relacionadas ao trabalho com a abordagem histórica da Física em aulas de nível médio, em conformidade com as mais recentes orientações curriculares para o ensino de ciências.

Ao tabular e categorizar as respostas ao segundo questionário, obtive indícios da pertinência e do bom potencial da escolha por esse tipo de instrumento de coleta de dados, pois a análise desse material me permitiu perceber e direcionar o olhar para um fato “novo”: pouco ou nada é efetivamente apresentado e aprofundado em termos de história da ciência brasileira em cursos de licenciatura em Física.

Tal realidade levou-me a especular sobre o mérito de uma eventual elaboração de materiais mais comprometidos com a adequada instrumentalização dos licenciandos acerca dos principais critérios historiográficos envolvidos na preparação e no desenvolvimento das aulas de disciplinas teóricas que já haviam cursado; no caso, utilizando como referência episódios selecionados da história da ciência nacional relacionados à Física.

Sob tal premissa, dediquei-me ao levantamento de temáticas, ao estudo pormenorizado e à sistematização de tais episódios, considerando seu potencial para propor e dar sustentação às discussões realizadas em sala de aula em torno de determinados conteúdos da Física tradicionalmente trabalhados no ensino médio, de maneira a viabilizar a apropriação da história da ciência como ferramenta didática da Física trabalhada nesse nível escolar.

Essa etapa da pesquisa culminou na escrita de um episódio histórico, retratando a trajetória de um programa implementado pelo governo brasileiro com o objetivo de desenvolver nossa ciência e tecnologia em um campo do conhecimento em que o país apresentava, no recorte temporal considerado, forte potencial para se estabelecer como provedor de recursos materiais e humanos com elevado nível de qualidade, visando ocupar um lugar de destaque em escala mundial.

Escrito com base na moderna historiografia da ciência – e detalhado em sua estruturação para descrever parte do caminho das pedras a ser trilhado no sentido de se contemplar de forma suficiente alguns dos critérios historiográficos apresentados – esse episódio serviu de referência para a formulação de um conjunto de sugestões de atividades envolvendo possibilidades de ações didáticas no desenvolvimento de aulas de Física em nível médio, voltadas para a articulação entre a história da ciência e

estratégias didáticas diversas (experimentação, resolução de problemas, abordagem CTS etc.).

Os materiais finais produzidos foram submetidos à leitura crítica e ao crivo de oito professores recém-formados, para os quais lecionei e com quem desenvolvi pesquisas no IFSP-SP, sempre envolvendo a aproximação história da ciência – ensino de Física. Convidados via e-mail para analisarem criticamente e oferecerem suas impressões acerca do episódio histórico e das sugestões de atividades elaboradas, esse grupo de professores se dispôs a participar da última rodada de questões, também ocorrida no ambiente Google Docs.

O objetivo dessa ação foi verificar o mérito e a efetividade desse material quanto à possibilidade de dirimir dúvidas e dificuldades relacionadas à utilização da história da ciência enquanto estratégia didático-pedagógica, tendo por base os critérios historiográficos da vertente defendida, com a qual todos os professores do grupo em referência já haviam entrado em contato nas aulas e investigações efetuadas, sob minha orientação, no período de graduação.

Ao submeter meu trabalho à análise dos docentes, reforço o valor que atribuo à crítica tecida pelos professores – já formados e em formação – no processo de validação e legitimação dos instrumentos e materiais produzidos na Universidade e que estejam comprometidos com a melhoria da educação científica brasileira. Tais sujeitos são, de fato, os efetivos (e primeiros) divulgadores da Física enquanto ciência junto aos alunos da escola básica, detendo, por força do desempenho cotidiano desse ofício, conhecimentos e informações privilegiadas acerca da efetividade daquilo que se destina a dar suporte para suas aulas.

Por fim, pondero acerca da possibilidade de a sistematização das etapas que deram origem à constituição do material produzido no contexto desta tese oferecer sugestões para adequações pontuais nos currículos de disciplinas selecionadas da grade curricular dos cursos de licenciatura em Física, de modo a tornar efetivo o trabalho com a história da ciência na instância de formação dos futuros professores, habilitando-os a utilizá-la com suficiente precisão e assertividade nas intervenções que farão enquanto docentes.

Esta tese foi estruturada de forma a apresentar, no próximo capítulo, os critérios historiográficos que caracterizam diferentes formas, ou vertentes, de se realizar uma narrativa sobre a história da ciência. Além de oferecer um panorama da presença desse corpo de conhecimentos no ensino de ciências, o capítulo 1 reúne ainda comentários a respeito de excertos de artigos publicados em periódicos da área

de Ensino de Física, com o objetivo de exemplificar os critérios que caracterizam as vertentes historiográficas apresentadas.

O capítulo 2 traz a caracterização e a análise dos dois primeiros questionários que dão suporte a esta investigação, sendo o primeiro aplicado para licenciandos em Física (em sala de aula), e o segundo, respondido por meio digital por uma parcela dos respondentes do primeiro questionário.

As respostas obtidas nesses dois questionários propiciaram a elaboração do capítulo 3, pautado pela proposta da presença da ciência nacional nas discussões envolvendo os usos da história da ciência nas aulas de Física. Para tanto, elaborei um texto apresentando um episódio da história da ciência e da tecnologia brasileiras, que serviu de suporte para um conjunto de onze atividades didáticas direcionadas ao professor do ensino médio, concebidas como sugestões de uso da história da ciência nas aulas de Física.

Concluindo, o capítulo 4 organiza e analisa os comentários e as críticas tecidas a esse material realizados pelos professores recém-formados, que foram levadas em consideração para justificar o formato final assumido pelo episódio histórico elaborado e pelas atividades didáticas sugeridas.

Capítulo 1

A Historiografia da Ciência e o Ensino de Física

Convenci-me de que não seria plausível um particular ter o propósito de reformar um Estado, mudando tudo desde os fundamentos e derrubando-o para corrigi-lo; como também não o seria reformar o corpo das ciências, ou a ordem estabelecida nas escolas para ensiná-las; mas que o melhor a fazer, em relação a todas as opiniões que eu acolhera até então, era empreender de uma vez por todas retirá-lhes a confiança, a fim de substituí-las depois ou por outras melhores, ou pelas mesmas, quando as tivesse ajustado ao nível da razão.

Discurso do Método (René Descartes)

1.1 – Vertentes historiográficas em ciência

Historiadores e educadores da ciência são oriundos de campos do conhecimento distintos. Consequentemente, distintos também são os significados atribuídos, as motivações e os interesses envolvidos na aproximação que os representantes de cada um desses grupos promovem entre a História da Ciência (HC) e o Ensino de Ciências (EC).

Ao se depararem com a possibilidade de tornar a HC uma estratégia facilitadora das discussões sobre ciência inerentes aos conteúdos científicos abordados em suas aulas, os professores de Física precisam fazer escolhas. Ou seja, a concepção de ciência que norteia suas ações enquanto docentes deve estar em alinhamento com a forma pela qual o histórico dessa ciência será apresentado.

Por consequência, a maneira pela qual as informações são trabalhadas junto aos alunos está invariavelmente relacionada com sua forma de apresentação; logo, quando a opção feita baseia-se em reconstruir historicamente a trajetória daquela faceta do conhecimento científico abordada, descrevendo a origem e o desenvolvimento dos conceitos e fenômenos a ela relacionados, lança-se mão do uso das chamadas *narrativas históricas*.

De acordo com Jahn (2001) e Herrenstein-Smith (1981 *apud* Metz *et al.*, 2007), *narrativas* podem ser definidas como tudo aquilo que conta uma história, na forma que for ou, ainda, conta a alguém algo ocorrido, ficando evidente a importância daquele que a propõe e conduz: o *narrador*; este, segundo Norris *et al.* (2005), é o que conta a

história e determina seus propósitos, a partir da seleção dos eventos e da ordem em que eles devem ser apresentados.

A influência dessa seleção é tamanha que acaba por determinar o encaminhamento das temáticas a serem, ou não, contempladas pela narrativa realizada. Em relação à História da Ciência, Kragh (1987) destaca que tal processo de seleção “produz um elemento eficiente ou eficaz que, em algum nível, reflete a visão de mundo do historiador” (KRAGH, 1987, p. 44).

Portanto, para poder identificar a intencionalidade subjacente ao material de cunho historiográfico com o qual o docente se deparar, é imperioso que ele saiba reconhecer as formas pelas quais a HC estabeleceu-se e institucionalizou-se como um domínio do conhecimento humano, bem como tenha suficiente discernimento para identificar o “tipo” de história mais adequado aos seus interesses didáticos, isto é, a *vertente historiográfica* com a qual seus propósitos educacionais mais bem se alinham. Do contrário, o professor corre o risco de meramente reproduzir um discurso reforçando aspectos da natureza da atividade científica que não contribuem para a promoção de um ensino de ciências comprometido com uma formação crítica e cidadã de seus alunos.

Por outro lado, considero que caracterizar a maneira pela qual historiadores e educadores da ciência tendem a compreender o que é, ou não, prioritário na aproximação entre suas áreas se constitui em uma forma natural de identificar alguns elementos essenciais para iniciar o delineamento de minhas ações.

Ao proceder assim, busco propor uma forma de negociar critérios e alinhar objetivos, sempre concentrando atenção na instância da formação básica – e, talvez, continuada – do professor de Física em relação aos usos concretos da HC enquanto estratégia didático-pedagógica.

Afinal, em sintonia com o pensamento descrito na epígrafe do presente capítulo, não vejo como sugerir qualquer mudança ou ajuste naquilo que entendo hoje como inadequado ou ineficaz sem a efetiva compreensão do histórico e da dinâmica envolvendo o desenvolvimento do meu objeto de estudo, até porque muito já se pesquisou e ainda se investiga nessa direção. E, ainda assim, que fique claro que o conceito de “razão” aqui envolvido passa necessariamente pela busca de um consenso entre o discurso e a prática dos principais agentes envolvidos nesse trabalho.

Contudo, ao contrário daquilo que ocorre com a Educação em Ciências, que no Brasil conta com uma vasta gama de cursos de licenciatura, é nula a oferta de cursos de graduação em HC, dadas as características multiculturais e interdisciplinares

naturalmente associadas a esse campo do conhecimento. A própria origem dos estudos em HC evidencia essa realidade, conforme reitera Alfonso-Goldfarb (1994),

não basta juntar História e Ciência para que o resultado final provavelmente seja História da Ciência [...] a História da Ciência, que se desenvolveu no interior da Ciência, sempre esteve mais próxima da Filosofia (Lógica, Epistemologia, Filosofia da Linguagem) do que da História. (ALFONSO-GOLDFARB, 1994, p. 8)

Como consequência, percebi-me impedido de diferenciar educadores de historiadores da ciência baseado apenas em informações relacionadas às formações, inicial ou pós-graduada, desses profissionais.

Tal fato instigou-me a tentar caracterizar a forma como pesquisadores que publicam artigos em periódicos de reconhecido valor na área de Ensino de Física se apropriam da HC. Para tanto, constituí parâmetros de natureza historiográfica que me permitissem cotejar e distinguir o tipo de abordagem promovida.

Com esse intuito, iniciei o trabalho consultando fontes historiográficas fidedignas e remontei um breve histórico da institucionalização da HC, colocando ênfase nas importantes diferenças existentes entre as principais correntes (vertentes, abordagens ou, ainda, tendências) historiográficas. Em especial, procurei enfatizar as características mais marcantes de duas abordagens distintas, passíveis de serem promovidas em HC, aqui chamadas de “Antiga” e “Moderna” historiografias da ciência. O presente capítulo apresenta e contextualiza tais vertentes, sintetizando-as e oferecendo, em determinado momento, parâmetros (ou critérios) destinados a permitir a comparação entre seus aspectos básicos.

De maneira geral, uma *ciência* foca suas atenções para a descrição e a explicação de uma determinada realidade, seja ela de caráter natural ou humano. Sob essa premissa, o cientista, e todos aqueles que historicamente ofereceram contribuições àquilo que nos dias atuais se convencionou denominar *ciência*, seria responsável pelo estudo dos fenômenos relacionados a essa realidade (ou universo) por meio de observações, experimentos e teorias, os quais determinam os meandros e as respostas necessárias para a construção de sua obra científica (no caso, livros e artigos) (MARTINS, 2004).

Nesse sentido, à HC caberia a análise desses personagens (“cientistas”), de suas obras e também do respectivo contexto em que foram propostas. Para tanto, inclusive visando ascender ao *status* de um campo de investigações autônomo e regido por padrões acadêmicos, a HC precisa examinar o passado empreendendo um exercício de busca pela compreensão do desenvolvimento histórico da ciência,

praticado, em geral, por meio do exame da sequência, do crescimento e da proliferação dos escritos históricos sobre a ciência (CHRISTIE, 1990).

Colocando em termos equivalentes, o historiador da ciência, em sua lida, almeja compreender esse passado científico, sobre o qual produz os registros característicos de sua obra historiográfica (MARTINS, 2004).

Mas, o que seria propriamente uma *historiografia*?

A título de curiosidade, uma breve pesquisa realizada em alguns dos diversos dicionários disponíveis na *internet* apresenta como resultados para a palavra “historiografia” definições recorrentes, em sua maioria retratando-a como “a arte de escrever a história”, “o estudo histórico e crítico acerca da história e dos historiadores” ou, ainda, “o trabalho de estudar e descrever a história, realizado pelo historiador”.¹

Em busca de uma caracterização mais adequada aos propósitos e expectativas que cercam um trabalho desta natureza, é necessário recorrer a definições mais precisas e fidedignas para esse termo. Como exemplo inicial, recorro a Michel Certeau (1925 – 1986), historiador francês de uma geração preocupada com a reflexão crítica de nuances relacionadas à prática da História, cujos principais resultados encontram-se registrados em sua obra *A escrita da História*. No prefácio da 2ª. edição dessa obra, Certeau declara que *historiografia* traria em seu nome um inerente paradoxo (*história e escrita*), advindo do “relacionamento de dois termos antinômicos: o real e o discurso. Ela tem a tarefa de articulá-los e, onde este laço não é pensável, fazer como se os articulasse” (CERTEAU, 1982, s.p.).

Sob esse viés, a *historiografia* contempla, então, o registro da *história*, por meio da leitura dos documentos caracterizando os objetos e períodos considerados. Porém, ao efetuar a leitura dos trabalhos dessa mencionada geração de autores, Ohara (2013) esclarece, com particular concisão, que

após a separação dos materiais é preciso investigá-los, questioná-los, problematizá-los. A historiografia francesa do século XX formulou essa questão muito habilmente: as fontes, eternos ancoradouros do historiador, não falam por si; é preciso que o historiador as questione, as interrogue, formule problemas para que possa retirar dali o material efetivo de sua narrativa (OHARA, 2013, p. 197)

No caso específico da *historiografia da ciência*, Olesko (2003) esclarece com precisão ser o

tratamento da ciência como um objeto de investigação histórica. Historiografia no sentido mais estreito significa a história dos escritos históricos; de maneira mais abrangente, ela também engloba a metodologia histórica, incluindo os valores e princípios que guiam a

¹ Como exemplos, há definições disponíveis nos sites <http://www.dicio.com.br/historiografia>, <http://aulete.uol.com.br/historiografia>, <http://www.priberam.pt/dlpo/historiografia> e <http://www.dicionarioweb.com.br/historiografia>. Acesso: 29 mai. 2014.

seleção dos objetos, a construção de categorias históricas de análise e a demarcação da periodização histórica (OLESKO, 2003, p. 366, tradução minha).

Para Helge S. Kragh, matemático e físico dinamarquês, a historiografia pode ter dois significados, sobre os quais declara:

Ela pode simplesmente significar a escrita (profissional) da história, isto é, relatos de eventos do passado escritos pelos historiadores; mas também pode significar a teoria ou a filosofia da história, isto é, reflexões teóricas sobre a natureza da história (KRAGH, 1987, p. 21, tradução minha).

De maneira similar, Roberto A. Martins, físico e pesquisador com diversas contribuições relacionadas ao estudo da HC, enfatiza ser possível definir *historiografia*, em um primeiro nível, como a produção dos historiadores, o produto de sua atividade,

composto essencialmente por textos escritos, [que] reflete os acontecimentos históricos agregando-lhes um caráter discursivo novo. Procura desvendar aspectos da história, mas não é uma mera descrição da realidade histórica (MARTINS, 2004, p.115-116).

Em um segundo nível, Martins apresenta o que seria a diferença fundamental entre *história* e *historiografia*, encontrando correspondência direta na definição defendida por Ubiratan D'Ambrosio, matemático e historiador da ciência responsável pela formação de algumas gerações de profissionais dessa área. Declaradamente simplificada e, em meu entendimento, suficiente para os propósitos sobre o que aqui pretendo discorrer, D'Ambrosio declara que “*História* é o conjunto dos acontecimentos humanos ocorridos no passado, e a *Historiografia* é o conjunto dos registros, interpretações e análises desses acontecimentos” (D'AMBROSIO, 2004, p. 166).

Em sintonia com a colocação de Kragh, na instância de interpretação e análise (ou, em suas palavras, “reflexões teóricas”), é possível constatar a importância e a influência do historiador em toda obra historiográfica produzida, determinando o viés do relato realizado e, por conseguinte, as possibilidades de uso desse material.

Há outras definições para historiografia, mas justifico minha preferência por esta última interpretação fazendo menção ao trecho do conto “Del rigor en la ciencia”, de Jorge L. Borges:

Naquele Império, a Arte da Cartografia logrou tal perfeição que o mapa de uma única província ocupava toda uma cidade, e o mapa do império, toda uma província. Com o tempo, esses mapas desmedidos não satisfizeram e os colégios de cartógrafos levantaram um mapa do império, que tinha o tamanho do império e coincidia pontualmente com ele. Menos devotas ao estudo da cartografia, as gerações seguintes entenderam que esse dilatado mapa era inútil e não sem impiedade o entregaram às inclemências do sol e dos invernos. Nos desertos do oeste perduram despedaçadas ruínas do mapa, habitadas por animais e por mendigos; em todo o país não há outra

reliquia das disciplinas cartográficas (BORGES, 1960, p. 40-41, tradução minha).

O escritor argentino manifesta seu desencantamento e ceticismo com definições e retratos por demais sofisticados do objeto que se enseja estudar, pois dependendo do nível de detalhamento realizado, o referido objeto é ofuscado ao ponto de se comprometer sua análise, sua compreensão e, por consequência, a efetividade dos relatos e das opiniões oferecidas.

Ainda assim, muito além da compilação dos registros produzidos historicamente, reforçando a inevitável existência de valores e princípios inerentes a essa ação mencionada por Olenko (2003), reitero a importância das duas vocações de um trabalho historiográfico: a *interpretação* e a *análise* (crítica) das obras selecionadas, em busca da compreensão de determinados aspectos do material historiográfico utilizado, tais como: i) a concepção (ou “imagem”) de ciência subjacente à narrativa histórica propalada; ii) as questões que são consideradas relevantes, devendo, portanto, ser respondidas; e iii) os objetivos contemplados pela tentativa de responder a tais questões (VIDEIRA, 2007).

Essa dinâmica permite constatar, nas práticas do “narrar história” e do “fazer história”, ao longo dos anos, a ocorrência de variações (ou vertentes) historiográficas, derivadas do complexo quadro sócio-político-cultural característico de cada período considerado.

De maneira simplificada, e em conformidade com os objetivos desta pesquisa, considero suficiente a apresentação e o detalhamento de características relacionadas a duas vertentes historiográficas que, não por acaso, mais adiante darão sustentação à montagem das categorias de análise das respostas oferecidas para os questionários que conduziram boa parte das minhas ações.

1.1.1 – Antiga historiografia da ciência

Ao final do séc. XIX, o físico e matemático britânico William Thomson (1824 – 1907), conhecido como Lorde Kelvin, proferia palestras em diversas universidades europeias e estadunidenses. Ao declarar não haver muito mais a se obter de inovador nas pesquisas realizadas em Física, por se tratar de uma ciência na qual existiriam apenas “duas pequenas nuvens obscurecendo seu horizonte”, Thomson fazia somente reverberar as ideias daqueles que acreditavam na completude e no caráter cumulativo e triunfalista da ciência, abrindo caminho para o surgimento dos diversos compêndios destinados a contar a história de uma das mais notórias “maravilhas” da produção humana.

Essa previsão rapidamente caiu por terra, visto que a primeira década do século XX testemunhou o surgimento da Relatividade e da Quântica, principalmente por conta dos esforços daqueles que se empenharam para solucionar os referenciados “últimos” problemas da Física, dois ramos desta ciência ainda hoje muito explorados – e com significativa parcela de suas aplicações ainda desconhecidas pelos próprios cientistas.

Ainda assim, a confiança no potencial de previsão da ciência incentivou aqueles que à época já haviam oferecido um contingente expressivo de contribuições à Física, assim como às outras Ciências da Natureza, a procederem formalmente os registros de suas colaborações e impressões pessoais, no sentido de produzirem relatos históricos de como se construiu o grandioso edifício científico.

Portanto, trata-se de uma época em que surge uma profusão de biografias, compêndios e relatos de abrangência enciclopédica que, a despeito das temáticas abarcadas, invariavelmente traziam-nas amalgamadas aos relatos pessoais dos respectivos autores acerca de suas vivências enquanto testemunhas da construção daquele admirável e sofisticado empreendimento.

Sobre essa prática, Russell (1984) afirma que

Para a maioria dos cientistas em serviço, incursões em história da ciência são um pouco como comer ovos de Páscoa: uma diversão inofensiva, apreciada por pessoas muito jovens e muito velhas, mas somente nos feriados. Contos heroicos do passado de glórias da ciência têm sido considerados adequados para os jovens leitores e muita história da ciência foi escrita por idosos, se não já aposentados, cientistas com meio olho em seu próprio local no *hall* da fama. Na verdade, tanto essas caracterizações de história da ciência – aperfeiçoamento juvenil ou propaganda geriátrica – são realmente caricaturas. Mas se em um momento foram parcialmente verdade, elas [hoje] misericordiosamente já não o são (RUSSELL, 1984, p. 777).

Em suma, toma corpo e força, no final do século XIX e início do século XX, uma HC feita principalmente por cientistas aposentados que, tendo já oferecido suas contribuições à ciência, dedicavam-se a relatar os grandes feitos da história de sua disciplina e/ou de sua área de pesquisa.

Nessa época, predominava uma concepção linear e acumulativa da HC, de acordo com a qual era enfatizado o papel do experimento e das considerações teóricas. Era uma história progressiva e triunfante, que se acreditava guiada pelas “verdades” gradativamente reveladas pela Natureza – e, como consequência, só poderia conduzir à ciência atual. Era como se a história das ideias científicas ocorresse “fora do tempo”, independente do contexto social, pois seria basicamente uma questão de se compreender o que a Natureza teria a dizer sobre si (ALFONSO-

GOLFARB e BELTRAN, 2004; KRAGH, 1987; MARTINS, 2004). Trata-se de uma história comprometida com a busca e a valorização de personalidades dotadas de um poder de síntese e dedução privilegiado, praticamente atemporais, gênios iluminados cujas ações seriam caracterizadas por tamanha precisão lógica que os tornariam incapazes de cometer erros – os quais, quando por acaso fossem detectados, deveriam ser sumariamente desconsiderados. Segundo essa visão, tais erros teriam apenas atrasado a identificação daquilo que atualmente é reconhecido como correto e válido.

Tal concepção a respeito do que seria a ciência e sua história foi bastante influenciada pela filosofia positivista, que floresceu no período. Sob esse olhar, um relato histórico fidedigno encontraria sustentação nos seguintes pressupostos:

a) História (isto é, o passado) é uma realidade objetiva que é o objeto imutável de interesse do historiador; e b) É papel do historiador reconstruir o passado com ele realmente ocorreu, ou seja, oferecendo uma descrição real do curso dos eventos do passado. Mas não é seu papel [do historiador] interpretar ou avaliar os acontecimentos do passado ou tecer conclusões sobre o presente ou o futuro com base na história. **O estudo da história é o estudo do passado como [sendo] o passado** (KRAGH, 1987, p.41, tradução e grifos meus).

Como vasta e recorrentemente destacado nos principais trabalhos da área (ALFONSO-GOLDFARB *et al*, 2004 e 2009; DEBUS, 2004; KRAGH, 1987; PORTO, 2010), a HC começou a se institucionalizar como uma área de pesquisa independente, em especial, a partir dos esforços do matemático belga George Sarton (1884 – 1956), fundador do primeiro periódico especializado em história da ciência (a revista *Isis*, em 1913), e autor de uma obra monumental nessa área. A partir de então, e de forma gradual ao longo do século XX, observa-se a historiografia da ciência sofrendo uma série de transformações.

Aldo Mieli (1879 – 1950), químico ítalo-argentino, e o filósofo francês Abel Rey (1873 – 1940), autores de imensos compêndios abarcando períodos amplos da HC – sempre tendo a Grécia Antiga como origem “natural” para a Ciência –, são outros bons exemplos de historiadores característicos dessa vertente historiográfica que, mesmo sendo gradualmente criticada por pensadores ligados principalmente à Filosofia e à Sociologia das Ciências, manteve-se hegemônica ao longo da primeira metade do XX.

O debate entre as correntes *internalista* (que focalizava somente as ideias da própria ciência, as teorias propostas e debatidas no meio acadêmico, os experimentos desenvolvidos e seu entorno intelectual) e *externalista* (que destacava a influência decisiva de fatores extracientíficos, como aspectos econômicos, políticos, culturais, religiosos, estéticos etc., na construção histórica da ciência) resultou no reconhecimento da necessidade de também se considerar o contexto social para a

compreensão de como é construído o conhecimento científico. Isso fez com que alguns historiadores deslocassem suas atenções para a análise das personalidades e dos fatos envolvidos com os estudos das origens da ciência, até então identificadas com a Europa, para outras localidades e culturas do globo (ALFONSO-GOLDFARB e BELTRAN, 2004; DEBUS, 1991).

Dois dos principais ícones dessa tendência foram Boris Hessen (1893 – 1936), físico da então União Soviética, responsável pela divulgação em terras distantes do Kremlin de uma releitura dos *Principia* de Newton sob um viés materialista (e, portanto, de natureza sócio-político-cultural) e Joseph Needham (1900 – 1995), bioquímico e embriologista britânico, envolvido por várias décadas com o estudo da civilização chinesa, empenhado em entender e descrever, dentre outros assuntos, a ciência produzida por aquele povo, de origens muito anteriores à Grécia e seus domínios (AFONSO-GOLDFARB, 1994).

Ainda que expoentes como Hessen e Needham trouxessem à tona a importância das discussões envolvendo o desenvolvimento histórico das ciências naturais, a concepção de progresso vigente permaneceu no período em evidência, bem como o olhar presentista predominante entre esses historiadores, priorizando a seleção de fatos, relatos e acontecimentos capazes de justificar e dar anuência ao conhecimento de cunho científico reconhecido como verdadeiro na atualidade.

Também conhecida como “pragmatismo moderno”, essa prática encontrou em John Dewey (1859 – 1952) um de seus principais e mais ferrenhos defensores, segundo o qual a “história não tem interesse. História, assim como ciência, é um instrumento de preenchimento de necessidades práticas. Relatos históricos que fazem isso são verdadeiros” (KRAGH, 1987, p.46. *Tradução minha*).

Sintetizando, convencionou-se denominar por *Antiga* a maneira de se escrever a HC (ou retratá-la, em geral) baseando-se na:

- 1) Apresentação de abordagens extensivas (“enciclopédicas”), pautadas pela compilação exaustiva de nomes, datas e acontecimentos;
- 2) Atemporalidade das proposições efetuadas em ciência, reforçada por uma abordagem anacrônica e presentista considerando que as ideias em ciência mudam somente devido à racionalidade, ao olhar para o passado com os valores, conceitos e pensamentos do presente, procurando apenas aquilo que parece ter dado origem ao que hoje se reconhece como correto;
- 3) Busca e apologia aos precursores “geniais” e “iluminados” das teorias atualmente aceitas;

- 4) Noção de progresso como um processo linear, evolutivo e cumulativo, gerando um conhecimento “cada vez melhor” e aceito compulsoriamente pela comunidade científica;
- 5) Crença na existência de um caminho assertivo em direção à verdade, desconsiderando o papel dos erros e de elementos extracientíficos nesse processo;
- 6) Grécia Antiga como origem do conhecimento de natureza científica; e
- 7) Supervalorização das ideias, experimentos e teorias da ciência, considerando apenas aspectos internos da ciência (BALDINATO e PORTO, 2008; PORTO, 2010).

Dentre outros aspectos, a dificuldade de se reconhecer a existência e a importância de fatores extracientíficos ao se produzir material historiográfico persiste, ainda que seja anacrônica e – como será possível observar mais adiante, a partir da leitura da seção que apresenta trechos de diretrizes curriculares brasileiras – sem sintonia com os propósitos de oferecimento de uma formação cidadã crítica e ativa, encontrando sua gênese em outros momentos e contextos históricos.

Ainda que a breve caracterização feita aqui sugira uma forma aparentemente antiquada de se contar a HC, principalmente no momento em que se levam em consideração os propósitos didáticos dos seus usos, é essencial situar a Antiga Historiografia da Ciência (AHC) em seu contexto temporal, pois é inegável o mérito de seus propositores e defensores por, no mínimo, terem aberto caminho para as discussões envolvendo a importância de se oferecer um tratamento histórico ao conhecimento praticado no âmbito das ciências naturais. Em outras palavras, negar a importância histórica dessa vertente é incorrer no mesmo tipo de “erro” classificado acima como presentista ou anacrônico. Afinal, como será mostrado mais adiante, não é incomum a presença desse tipo de vertente historiográfica em materiais de cunho didático disponíveis para os professores de Física oferecerem uma abordagem histórica em suas aulas.

Portanto, pensando em garantir aos docentes a devida autonomia no momento da escolha, é de suma importância que esses profissionais conheçam o histórico e a circunscrição da AHC, para reconhecerem as implicações pedagógicas desse tipo de abordagem. Ao conseguirem identificar as principais características da AHC e compará-las com os aspectos relacionados a outra vertente apresentada a seguir, os professores podem adotar uma abordagem que esteja, de fato, em sintonia com a realidade do ambiente educacional onde atuam.

1.1.2 – Moderna historiografia da ciência

A tensão oriunda do debate entre as correntes internalista e externalista talvez tenha sido o pontapé inicial para se repensar a maneira pela qual a historiografia até então produzida encontrava, ou não, ressonância com os novos acontecimentos e produtos de uma ciência cada vez mais influente e determinante na qualidade de vida das pessoas.

Desse modo, a crença na ciência desenvolvendo-se em uma única direção, de forma contínua e acumulativa, precisou ser rompida de modo a abrir espaço para reflexões mais ricas e amplas, abarcando a atualmente aceita diversidade de formas de se fazer ciência nos diversos lugares e épocas (ALFONSO-GOLDFARB, 1994). Vale destacar que essa concepção não foi, de fato, uma consequência natural do debate internalismo – externalismo, pois:

Apesar de ter colocado no lugar desse pensamento [internalista] a sociedade como mola mestra do progresso científico, o externalismo manteve a ideia de progresso e continuidade. Assim, fosse através do pensamento humano (como queriam os internalistas), fosse através da sociedade (como diriam os externalistas), o caminho do conhecimento continuava sendo um só, que tinha progredido lentamente desde a Idade da Pedra até a ciência moderna europeia (ALFONSO-GOLDFARB, 1994, p. 78).

Assim sendo, a perspectiva continuísta da HC foi aos poucos sendo criticada por diversos autores, dentre os quais se destacam Gaston Bachelard (1884 – 1962), Alexandre Koyré (1892 – 1964), Ludwik Fleck (1896 – 1961) e Thomas Kuhn (1922 – 1996), que reconheciam no “desenvolvimento” de uma ciência a coexistência de momentos de descontinuidades e rupturas, nos quais ideias ou metodologias novas representavam profundas mudanças de rumo para essa ciência, e não apenas um acréscimo ao conhecimento já existente.

Uma consequência desse olhar multifacetado foi o reconhecimento da importância do estudo de outras formas de conhecimento antes desprezadas pelos historiadores da ciência, tais como a magia, os ofícios práticos, a astrologia, os saberes populares etc., para se compreender sua influência sobre o desenvolvimento dos diversos ramos da ciência em diferentes épocas e locais (ALFONSO-GOLDFARB *et al.*, 2004; DEBUS, 1991).

Outra marcante característica dessa vertente historiográfica é a valorização da importância das controvérsias associadas ao contexto de proposição das teorias e “descobertas” científicas, estando estas últimas cada vez menos cercadas por uma aura de mistério e genialidade, evitando-se a supervalorização dos personagens iluminados que, de maneira extraordinária e isolada, teriam-nas proposto. Trata-se de

valorizar as inúmeras personalidades que, em maior ou menor proporção, ofereceram contribuições importantes para a constituição de teorias, a execução de experimentos ou a descoberta de determinados fenômenos.

Ao proceder assim, reforça-se o valor das trocas de ideias e informações entre os diversos grupos de pessoas envolvidas com o desenvolvimento das técnicas e práticas vigentes nas ciências, sem com isso diminuir a importância, para seu desenvolvimento, daqueles personagens mais notoriamente conhecidos e referenciados (Galileu, Newton, Maxwell, Einstein etc.).

Ao abrir espaço para tais discussões, acaba-se por evidenciar o papel do contexto sócio-histórico-cultural no surgimento e no desenvolvimento das ideias trabalhadas em ciência, tornando-se claro que a proposição de respostas para demandas pessoais e sociais de uma determinada época acabam por determinar os rumos das pesquisas científicas obtidas ao longo da HC. Ou seja, as facilidades e contingências encontradas pelos homens e mulheres que trabalham em ciência são determinantes dos rumos e dos resultados obtidos pelos mesmos, deixando claro não haver uma forma (ou método) segura, única e inequívoca de se fazer ciência que seja neutra e atemporal (“universal”), passível de ser reproduzida em qualquer sociedade, época ou localidade.

Portanto, considerando todas essas demandas, a escrita de obras abarcando vastos períodos históricos, sequências infundáveis (e desarticuladas) de nomes, datas e acontecimentos seria preterida pela abordagem dos chamados “estudos de caso”, valorizando: i) a discussão aprofundada dos aspectos de reconhecida relevância no episódio analisado; ii) a contextualização do cientista em seu tempo e espaço de atuação; e iii) a importância do confronto das diferentes ideias para a compreensão da complexidade e dos constructos da ciência (PORTO, 2010).

Apesar da apropriação aqui realizada sobre o conceito de “estudos de caso”, surgida em contextos focados no trabalho com a história e a historiografia, é possível verificar uma semelhança com suas variações lexicais “estudo de caso” e “estudo de casos” elaboradas no campo da Metodologia de Pesquisa em Ensino. Por exemplo, Sturman (1988 *apud* Moreira, 2011) define “estudo de caso” como

um termo genérico para a pesquisa de um indivíduo, um grupo ou um fenômeno [...], se encaixa em uma tradição holística de pesquisa segundo a qual as características de uma parte são determinadas grandemente pelo todo ao qual pertence. A compreensão das partes requer a compreensão de suas inter-relações no todo.[...] [P]ara entender um caso, para entender e compreender e descobrir como as coisas ocorrem e por que ocorrem, para talvez predizer algo a partir de um único exemplo ou para obter indicadores que possam ser usados em outros estudos (talvez quantitativos), é necessária uma

profunda análise das interdependências das partes e dos padrões que emergem (MOREIRA, 2011, p. 86).

Sobre o “estudo de casos”, Serrano (1988 *apud* Moreira 2011) declara tratar-se de “uma descrição intensiva, holística e uma análise profunda de uma entidade singular, um fenômeno ou unidade social” (MOREIRA, 2011, p. 87).

Para o presente trabalho, avalio que tais definições sejam complementares, permitindo-me delas me apropriar tanto na caracterização da vertente historiográfica que norteia determinada apresentação de episódios da HC, quanto na própria elaboração dos episódios comentados no capítulo 3.

Considerando tratar-se de outra maneira para se abordar a HC, e estabelecida mais recentemente, denomina-se Moderna Historiografia da Ciência (MHC) essa vertente que pauta sua prática pelo estudo mais pormenorizado dos objetos da HC elegidos como merecedores de serem analisados. Deste modo, é fundamental que fiquem evidenciadas as características e os padrões do objeto estudado que, de fato, gerariam a compreensão da problemática desenvolvida.

Em suma, a MHC seria uma vertente essencialmente comprometida com os seguintes aspectos:

- 1) Análise pontual e minuciosa de estudos de caso, neles priorizando a investigação aprofundada de algumas personalidades, períodos ou acontecimentos específicos;
- 2) Apresentação das ideias atreladas ao contexto sócio-histórico-cultural em que foram propostas;
- 3) Valorização das controvérsias, destacando o papel desempenhado por diversas personalidades na construção da ciência;
- 4) Identificação de diferentes níveis superpostos de continuidades e rupturas na constituição das ideias científicas ao longo da história;
- 5) Destaque às particularidades das interpretações das várias fontes utilizadas pelos cientistas, incluindo as de caráter extracientífico;
- 6) Reconhecimento da importância de outras tradições intelectuais no desenvolvimento da ciência (e não somente as de origem europeia); e
- 7) Realce à influência de outros tipos de fatores externos (de natureza psicológica, religiosa e social, por exemplo) na prática científica (BALDINATO e PORTO, 2008; PORTO, 2010).

Para além do estabelecimento de regras e critérios com o objetivo de determinar a “melhor” vertente historiográfica, esse conjunto de aspectos – assim como o que foi anteriormente colocado acerca da AHC – visa essencialmente ao

oferecimento de informações e demais elementos que propiciem ao professor realizar uma escolha mais crítica e consciente do caminho a seguir, ao optar pelo uso da HC em suas aulas de Física.

1.1.3 – Quadro comparativo das vertentes historiográficas

Após apresentar uma versão do histórico da historiografia da ciência, senti a necessidade de evidenciar e cotejar a maneira pela qual cada vertente historiográfica delineia, ou não, um determinado retrato de época, dando ênfase aos distintos aspectos da constituição do chamado “empreendimento científico”. Dessa forma, busquei constituir categorias subjacentes aos aspectos delineados acima, que me permitissem identificar as apropriações passíveis de serem analisadas em termos de um maior alinhamento com a AHC ou a MHC. Tais categorias identificam a forma de apresentação da narrativa histórica presente na instância considerada, seja nos trechos selecionados de artigos publicados em periódicos, seja nas respostas oferecidas pelos licenciandos aos questionários que compõem esta pesquisa.

Mostrado a seguir, o Quadro 1 visa facilitar a visualização e a comparação das principais características relacionadas às vertentes historiográficas supramencionadas.

Antiga	Moderna
Apresentação de abordagens extensivas (“enciclopédicas”), pautadas pela compilação exaustiva de nomes, datas e acontecimentos.	Análise pontual e minuciosa de estudos de caso, priorizando neles a investigação aprofundada de algumas personalidades, períodos ou acontecimentos específicos.
Atemporalidade das proposições efetuadas em ciência, reforçada por uma abordagem anacrônica e presentista considerando que as ideias mudam somente devido à racionalidade, ao olhar para o passado com valores, conceitos e pensamentos do presente, procurando apenas aquilo que parece ter dado origem ao que hoje se reconhece como correto.	Apresentação das ideias atreladas ao contexto sócio-histórico-cultural em que foram propostas, evidenciando nesse processo a importância e a influência dos valores de época e do local em que geograficamente se desenvolveram.
Busca e apologia aos precursores “geniais” e “iluminados” das teorias atualmente aceitas.	Valorização das controvérsias, destacando o papel desempenhado por diversas personalidades na construção da ciência.
Noção de progresso como um processo linear, evolutivo e cumulativo, gerando um conhecimento “cada vez melhor” e aceito compulsoriamente pela comunidade científica.	Identificação de diferentes níveis superpostos de continuidades e rupturas na constituição das ideias científicas ao longo da história.
Crença na existência de um caminho assertivo em direção à verdade, desconsiderando o papel dos erros e de elementos de natureza extracientífica nesse processo.	Destaque às particularidades das interpretações das várias fontes utilizadas pelos cientistas, incluindo as de caráter extracientífico.
Grécia Antiga como origem do conhecimento de natureza científica.	Reconhecimento da importância de outras tradições intelectuais no desenvolvimento da ciência (e não somente as de origem europeia).
Supervalorização das ideias, experimentos e teorias da ciência, considerando apenas aspectos internos da ciência.	Realce à influência de outros tipos de fatores externos (de natureza psicológica, religiosa e social, por exemplo) na prática científica.

Quadro 1: Comparação entre as principais características da antiga e da moderna historiografias da ciência.

Um exemplo evidenciando os múltiplos olhares passíveis de serem lançados ao se empregar uma narrativa histórica com fins didáticos será apresentado mais adiante, e foi extraído de uma sequência de aulas de uma disciplina que abordava a HC em um curso de licenciatura em Física. No caso, os licenciandos em Física interessados em apresentar as contribuições oferecidas à ciência por civilizações não-ocidentais (árabes, chineses, indianos etc.), em contraposição ao tradicional enfoque eurocêntrico, foram apresentados a uma gama diversificada de materiais. As escolhas feitas pelos licenciandos denotam, em maior ou menor proporção, o tipo de narrativa histórica que mais bem se alinha com a imagem de ciência que esse futuro profissional possui ou deseja veicular.

Nesse sentido, por uma questão de coerência com meus ideais de educação, as informações apresentadas na próxima seção visam justificar minha opção pelo trabalho sob a luz dos critérios e da concepção de HC associados à MHC ao elaborar os episódios históricos produzidos no contexto desta pesquisa.

1.2 – História da Ciência como recurso didático no Ensino de Física

Tendo por base as vertentes historiográficas descritas, procedi ao levantamento de artigos publicados em periódicos nacionais de notória relevância e impacto na área de Ensino de Física. Para tanto, localizei trechos presentes nos artigos comprometidos com a apresentação da HC em contextos didáticos, fossem esses teóricos ou práticos, potencialmente aplicáveis ou já aplicados.

Identificados os artigos com essas características, localizei e extraí excertos capazes de exemplificar os critérios destacados no Quadro 1, ou seja, evidenciando os aspectos atribuídos a uma ou outra tendência historiográfica (“Antiga” ou “Moderna”). O objetivo dessa ação foi tentar esclarecer para o licenciando em Física aquilo que para um historiador da ciência em geral parece evidente. Justifico esta colocação com base em minha experiência enquanto docente e orientador de iniciações científicas de licenciandos em Física, para os quais – devido aos mais diversos motivos já explorados pela literatura especializada – é notória a dificuldade de interpretação e compreensão de conceitos, termos e critérios de cunho historiográfico.

Para o processo de exemplificação e detalhamento dos critérios mencionados, relacionados às duas vertentes historiográficas em evidência, foram escolhidos a *Revista Brasileira de Ensino de Física* e *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, periódicos estabelecidos nacionalmente há mais de três décadas e de amplo conhecimento por parte dos pesquisadores ligados à área de Ensino de Física em nosso país.

Como recorte temporal, utilizei para a seleção dos artigos o período compreendido entre os anos de 1996 e 2014. Esse período inicia-se imediatamente após a publicação, em dezembro de 1995, da tradução do artigo “História, Filosofia e Ensino: a tendência atual de reaproximação”, no então *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atual *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*) (Matthews, 1995).

Independentemente de compactuar, ou não, com as opiniões proferidas pelo autor desse artigo, avalio como notória sua influência sobre as reflexões relacionadas aos usos da História e da Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências articuladas em território brasileiro, fato refletido em sua presença quase que compulsória nas referências bibliográficas dos principais trabalhos (livros, artigos, apresentações e eventos científicos etc.) envolvendo interlocuções entre essas áreas nas últimas duas décadas.

Para corroborar a escolha desse período, vale lembrar que, em dezembro de 1996, foi publicada a mais recente Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), marco legal de regulamentação da Educação no Brasil em seus mais diversos níveis, motivadora de mudanças e de releituras envolvendo o ensino formal praticado no país, instrumento que naturalmente gerou reflexos nos rumos tomados pela educação científica e tecnológica a partir de então.

Assim, realizei, anteriormente à análise dos artigos dos periódicos mencionados, a leitura sistematizada dos principais documentos oficiais relacionados ao Ensino de Ciências no Brasil (PCN, PCN+ de Física, OCEM e DCNEM), buscando reflexos em sua escrita das tendências identificadas nos periódicos anteriormente mencionados e, em especial, procurando reforçar minha escolha pelo trabalho com a MHC na montagem dos episódios históricos exemplares, apresentados no capítulo 3 desta tese. Fiz uma breve revisão sobre a literatura abarcando o descompasso entre o que é previsto pelos documentos oficiais e a realidade da prática docente, destacando reflexos desta última na escrita dos livros didáticos publicados sob a vigência do Plano Nacional do Livro Didático (PNLD), voltados para o ensino médio.

Ao analisar essa composição de forças, o principal objetivo perseguido foi a identificação de indícios e argumentos que me permitissem dar forma e sustentação aos critérios norteadores da elaboração dos questionários que compõem esta pesquisa, os quais se encontram detalhados nos capítulos 2 e 3 deste trabalho.

1.2.1 – O que dizem os documentos oficiais: haveria alguma vertente historiográfica a ser privilegiada?

Livros e vídeos didáticos, periódicos (em versão impressa ou digital) e eventos científicos da área de Ensino de Física (congressos, simpósios, encontros, seminários,

jornadas e afins) são exemplos de materiais e instâncias em que discussões e aplicações de recursos e abordagens didáticas ocupam um lugar cativo, nos quais a HC, em maior ou menor proporção, mostra-se presente, em geral sob a justificativa de favorecer de forma substancial o trabalho com aspectos da NdC.

Ainda assim, há um conjunto de conteúdos obrigatórios da Física a serem trabalhados no núcleo comum de disciplinas oferecidas no ensino médio, em sintonia com uma regulamentação contida em documentos publicados pelas diversas esferas do poder constituído, que deve ser observada.

Portanto, pode-se identificar as formas de apropriação da HC por intermédio dos setores responsáveis pela sistematização do ensino de Física no Brasil tomando como referência a leitura desses documentos, escritos a partir de acordos e consensos tecidos juntos aos principais agentes que representam tais setores.

Em se tratando do EC, poucas são as aproximações e os recursos que gozam de consenso junto à comunidade acadêmica acerca do real valor que possuem enquanto estratégias didático-pedagógicas.

Nesse seletor grupo, cabe destaque à importância geralmente atribuída à HC, invariavelmente sustentada pela alusão à sua capacidade de propor e dar legitimidade às discussões problematizando aspectos relacionados à já mencionada NdC, com evidentes reflexos na escrita dos principais documentos que oficialmente regem e norteiam o Ensino no Brasil.

Por exemplo, as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), ao tratarem, em seu artigo 13, do papel das unidades escolares na definição de suas propostas curriculares, determinam serem instâncias imprescindíveis nessa tarefa:

I- as dimensões do trabalho, da ciência, da tecnologia e da cultura como eixo integrador entre os conhecimentos de distintas naturezas, contextualizando-os em sua **dimensão histórica** e em relação ao contexto social contemporâneo; II- o trabalho como princípio educativo, para a compreensão do **processo histórico** de produção científica e tecnológica, desenvolvida e apropriada socialmente para a transformação das condições naturais da vida e a ampliação das capacidades, das potencialidades e dos sentidos humanos (BRASIL, 2012, p. 4, grifos meus).

O teor dessas determinações sugere a natural interlocução da ciência a ser desenvolvida nas salas de aula da Escola Básica com o cotidiano dos alunos, evidenciando as particularidades do trabalho dos docentes em Ciências – com objetivos e enfoques em muito distantes daquela ciência praticada pelos cientistas –, capaz de oferecer uma mais que desejável dimensão cultural aos seus conteúdos

teóricos. Nesse sentido, as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (OCEM) destacam que

os conteúdos ensinados na escola constituem um novo saber, deslocado de sua origem. Um tratamento didático apropriado é a utilização **da história e da filosofia** da ciência para contextualizar o problema, sua origem e as tentativas de solução que levaram à proposição de modelos teóricos, a fim de que o aluno tenha noção de que houve um caminho percorrido para se chegar a esse saber (BRASIL, 2006, p. 50, grifo meu).

Reforçando essa necessidade, mas especificamente referindo-se ao Ensino da Física, a parte III dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) para o Ensino Médio – que explicita habilidades básicas e competências específicas a serem desenvolvidas pelos alunos acerca desse corpo de conhecimentos em nível médio –, afirma ser “essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas” (BRASIL, 1998, p.22).

Elevando o nível de detalhamento desse documento, para permitir aos profissionais ligados ao ensino da Física uma melhor compreensão dos parâmetros nele veiculados, as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+) enfatizam a importância de se oferecer aos alunos efetivas condições para que possam “compreender a construção do conhecimento físico como um **processo histórico**, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época” (BRASIL, 2002, p.14. grifo meu).

Na realidade, um grande quadro compõe o texto do PCN+ de Física, visando enriquecer e pormenorizar o documento publicado quatro anos antes, oferecendo maiores orientações voltadas para o entendimento das competências em Física esperadas ao final da escolaridade básica. Os PCN+ ressaltam os aspectos que tornam significativas as competências, por meio de situações que as exemplificam (BRASIL, 2002).

O quadro 2, apresentado a seguir, transcreve o trecho que se refere de maneira específica aos usos da HC no Ensino de Física, disposto no subtítulo “Contextualização sócio-cultural”:

COMPETÊNCIAS GERAIS	SENTIDO E DETALHAMENTO EM FÍSICA
CIÊNCIA E TECNOLOGIA NA	➤ Compreender a construção do conhecimento

<p style="text-align: center;">HISTÓRIA</p> <p>Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social</p>	<p>físico como um processo histórico, em estreita relação com as condições sociais, políticas e econômicas de uma determinada época. Compreender, por exemplo, a transformação da visão de mundo geocêntrica para a heliocêntrica, relacionando-a às transformações sociais que lhe são contemporâneas, identificando as resistências, dificuldades e repercussões que acompanharam essa mudança.</p> <p>➤ Compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas.</p> <p>➤ Compreender o desenvolvimento histórico da tecnologia, nos mais diversos campos, e suas consequências para o cotidiano e as relações sociais de cada época, identificando como seus avanços foram modificando as condições de vida e criando novas necessidades. Esses conhecimentos são essenciais para dimensionar corretamente o desenvolvimento tecnológico atual, através tanto de suas vantagens como de seus condicionantes. Reconhecer, por exemplo, o desenvolvimento de formas de transporte, a partir da descoberta da roda e da tração animal, ao desenvolvimento de motores, ao domínio da aerodinâmica e à conquista do espaço, identificando a evolução que vem permitindo ao ser humano deslocar-se de um ponto ao outro do globo terrestre em intervalos de tempo cada vez mais curtos e identificando também os problemas decorrentes dessa evolução.</p> <p>➤ Perceber o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história. Muitas vezes a tecnologia foi precedida pelo desenvolvimento da Física, como no caso da fabricação de lasers, ou, em outras, foi a tecnologia que antecedeu o conhecimento científico, como no caso das máquinas térmicas.</p>
---	--

Quadro 2: Competências gerais e sentido de detalhamento em Física acerca da contextualização sócio-cultural da ciência e da tecnologia na história (BRASIL, 2002, p. 14).

A leitura das informações aqui destacadas, todas extraídas dos principais documentos oficiais norteando o ensino em ciências que deveria ser praticado no Brasil, não deixa dúvidas a respeito da vertente historiográfica conformada aos propósitos de preparação em nível médio almejados por nossos governantes e seus consultores: a já destacada *moderna historiografia da ciência*.

A seguir, discorro sobre minhas observações acerca de como ocorre a utilização da HC na Física atualmente na escola básica, principalmente no que se refere à formação dos docentes e às características de alguns dos materiais disponíveis para a efetivação dessa prática.

1.2.2 – Entre a escrita e a prática: divergências e entraves

Apesar de todo incentivo e respaldo legais, tomando-se como referência os aspectos metodológicos e práticos das ações associadas à aproximação HC–EC, o que na prática se observa são muitos entraves contrapondo-se à efetivação dos principais objetivos de seus propositores, motivo de preocupação e análise de alguns pesquisadores que trabalham na interface entre essas duas áreas do conhecimento (MARTINS, 2007; FORATO, 2009; SCHMIEDECKE; VALENTE, 2012).

Soma-se a essa complexa realidade a necessidade de delimitação do “tipo” de HC que se apresenta como mais adequada à apropriação que dela se deseja promover naquele específico contexto didático-pedagógico, ou seja, qual seria a vertente historiográfica mais adequada para oferecer os subsídios necessários à aproximação escolhida.

Embora, conforme já enfatizado, a MHC tenha norteadado, direta ou indiretamente, a escrita dos principais documentos contendo a visão oficial dos órgãos regulamentadores do ensino no país acerca da aproximação HC–EC, nada a princípio impediria determinada instituição ou grupo de pessoas comprometidas com uma concepção de ciência considerada “ultrapassada” de assumir sua preferência por outra maneira de abordar a HC, legitimando sua escolha com base nos ideais de educação que desejam perpetuar. Como exemplo dessa realidade, teríamos os colégios militares e algumas escolas confessionais mais tradicionais, cujos planos político pedagógicos são pautados por condutas valorizando determinados períodos e personagens da HC, a despeito das controvérsias e nuances relacionadas ao seu desenvolvimento e às suas realizações.

Sob essa ótica, a apresentação das influências religiosas e/ou místicas (dentre as quais se destaca a Cabala) de Isaac Newton (1642 – 1727) no conjunto de suas realizações, por exemplo, provavelmente não seria uma prática considerada conveniente e incentivada no contexto de uma escola mantida por uma ordem religiosa de raízes islâmicas; posição equivalente talvez ocupasse, em um colégio militar, a proposição de discussões envolvendo as relações entre ciência e poder (e os respectivos desacertos ocorridos) envolvidas no histórico da Missão Centenário, do astronauta brasileiro Marcos Pontes, sob a luz dos critérios da MHC.

Feita a ressalva, para fazer sentido e gerar efetivos resultados práticos e duradouros, a destacada importância da HC no EC deve ser acompanhada por ações capazes de oferecer-lhe sustentação, necessariamente delimitando os papéis determinantes da escolha dos critérios a serem utilizados naquele contexto e, ainda, permitindo a compreensão das principais contingências inerentes a tal aproximação.

Iniciando minha breve análise pelo campo das contingências, destaco a existência de uma quantidade expressiva de trabalhos elencando os obstáculos interpostos à eficácia da HC como estratégia didático-pedagógica nos cursos de ciências atuais.

Martins (2007), por exemplo, em um levantamento realizado junto a profissionais da educação em ciência (licenciandos, professores da rede pública e alunos de pós-graduação) constata serem muitas as dificuldades relacionadas ao uso didático da História e da Filosofia da Ciência (HFC), dentre as quais se destacam: a pouca disponibilidade de material didático de qualidade; uma demasiada preocupação das escolas em preparar seus alunos para as provas de vestibular, nas quais conteúdos de HFC são ausentes; a dificuldade e resistência dos alunos do ensino médio em perceberem a relevância da HFC em seu aprendizado, reforçada pelo descarte deliberado desse corpo de conhecimentos nas provas de vestibular; a relutância dos docentes de Física em admitirem que o fracasso de iniciativas do uso da HFC em sala de aula também está relacionado com os próprios professores e não somente a questões externas; e a existência de disciplinas que trabalham HFC nos cursos de formação de professores sem efetividade, considerando-se que os licenciandos raramente incorporam as ações desenvolvidas nesses cursos em suas práticas pedagógicas.

Nessa mesma direção, mas partindo dos resultados da pesquisa que deu origem a sua tese de doutoramento, Forato (2009), ao elaborar um curso-piloto de nível médio contemplando as decorrentes necessidades didático-pedagógicas e histórico-epistemológicas, prevê e discorre, originalmente, acerca da existência de 17 obstáculos a serem enfrentados para se transformar a natureza da ciência em saber escolar no ensino médio, alguns deles superáveis, enquanto outros seriam somente contornáveis.

Não obstante, sobre a elaboração dos livros didáticos, Schmiedecke e Valente (2012), verificaram que a apresentação dos aspectos históricos associados ao surgimento e ao desenvolvimento de determinado conteúdo da Física Moderna e Contemporânea constantes nos livros didáticos na última versão do PNLD carece de qualidade e efetividade, não oferecendo aos professores elementos mínimos para a proposição de discussões, junto aos alunos, acerca das principais consequências e desdobramentos sociais, filosóficos e éticos que cercaram a descoberta e o desenvolvimento daquele corpo de conhecimentos, inviabilizando a almejada possibilidade de se abordar importantes facetas da NdC.

Para realçar tais resultados, a próxima seção procura lançar luz sobre essa última realidade, apresentando alguns resultados de investigações realizadas com o intuito de identificar a maneira pela qual os atuais livros didáticos de Física para o ensino médio abordam a HC.

1.2.3 – Livros didáticos para o Ensino Médio e a História da Ciência

Há claras influências das determinações existentes nos documentos oficiais na atual forma de elaboração dos livros didáticos, um recurso historicamente muito importante no cotidiano laboral dos docentes.

Com o objetivo de servirem de apoio e complementação para os estudos dos alunos dos mais diversos níveis, os livros didáticos têm desempenhado um papel determinante na constituição da prática profissional de boa parte dos docentes. A organização sistematizada dos conteúdos a serem abordados, somada a sugestões de atividades, rotinas, problemas a serem resolvidos etc., tem reforçado a função dos livros didáticos como “manuais didáticos” determinantes para a estruturação e articulação das ações didáticas desses profissionais, principalmente quando ingressantes nas salas de aula (CAMPOS, 2001). Em outras palavras, é de grande valor para um profissional – principalmente para aqueles em início de carreira – uma ferramenta que o auxilie em sua prática diária, em especial no período de “aclimação” à realidade da sala de aula.

Corroborando essa importância histórica, em nível internacional, um levantamento encomendado há quase duas décadas pelo Banco Mundial atribuía ao livro didático o quarto lugar em termos de influência no processo de aprendizagem dos estudantes, sendo naquele momento considerado até mais importante que o conhecimento, a experiência e o salário do professor (MATTOS *et al.*, 2002).

Pode-se contestar a precisão dessa influência nos dias atuais, considerando-se as diversas inovações tecnológicas surgidas no período e efetivamente incorporadas ao cotidiano das escolas, a mudança de valores da nossa sociedade e, por conseguinte, a real importância atribuída pelos estudantes aos livros enquanto recursos relevantes para a orientação de seus estudos. Todavia, o Ministério da Educação ainda investe recursos consideráveis na compra de livros didáticos para estudantes das escolas públicas brasileiras, por meio do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD).

Contando com a participação de profissionais das mais diversas áreas do conhecimento, o PNLD elabora periodicamente um “Guia de Livros Didáticos”, cuja última grande versão (PNLD-2015), ao estabelecer critérios visando à aprovação das obras de Física, destaca, entre outros elementos, ser necessário verificar se a obra

“utilizou abordagens do processo de construção das teorias Físicas, sinalizando modelos de evolução dessas teorias que estivessem em consonância com vertentes epistemológicas contemporâneas” (BRASIL, 2014, p. 16). Para tanto, a HC é um recurso de reconhecido valor no sentido de apresentar e a discutir as mudanças de paradigmas ocorridas no desenvolvimento da Física e, ainda, montar um quadro fidedigno sobre como foram constituídas e a que se referem as “vertentes epistemológicas contemporâneas”.

Na ficha de avaliação pedagógica do PNLD, um dos indicadores do bloco que avalia especificamente a abordagem teórico-metodológica e a proposta didático-pedagógica recomenda verificar se a obra “[c]ontempla a história da ciência articulada aos assuntos desenvolvidos, evitando reduzi-la a **cronologia, biografias de cientistas ou a descobertas isoladas**” (BRASIL, 2014, p. 22, grifo meu).

Entretanto, uma consulta aos trabalhos focados na identificação da presença da HC nos livros didáticos de Física revela a ordem de grandeza da distância separando essas determinações da forma pela qual a HC ocupa seu real espaço nesses materiais.

Um significativo conjunto de trabalhos trata da maneira pela qual a HC está presente nos livros didáticos (CARVALHO, 2007; SILVA; PIMENTEL, 2008; MORAES, 2011; ANDRADE, 2012), em geral voltados para a identificação dos erros e distorções de natureza teórica e historiográfica neles presentes.

Investigando as maneiras pelas quais o histórico da Energia Nuclear é (ou não) explorado nas dez coleções aprovadas no PNLD – 2012, Schmiedecke e Valente constataram que, ao abordarem determinado conteúdo físico, seus autores raramente abordam o respectivo histórico associado e, quando o fazem,

limitam-se a repetir dogmaticamente a participação de um ou dois nomes ligados à História da Física. [...] Episódios extremamente relevantes nesse processo histórico [...] não chegam às salas de aula, a despeito do imenso manancial das discussões que poderiam promover (SCHMIEDECKE e VALENTE, 2012, p. 8).

Em um trabalho anterior, analisando algumas obras aprovadas no PNLD – 2007 e, também, alguns textos paradidáticos, com particular atenção dada ao histórico das contribuições oferecidas por Benjamin Franklin (1706 – 1790) aos estudos sobre a Eletricidade, Silva e Pimentel concluíram que

a história da ciência presente nos livros didáticos e paradidáticos analisados é superficial, com muitos erros historiográficos e, além do mais, transmitem visões sobre a natureza da ciência e seu método que não correspondem aos conhecimentos epistemológicos atuais. De uma maneira geral, esses livros reforçam a ideia da existência de grandes gênios, valorizam apenas os conhecimentos que coincidem com os aceitos atualmente e, além disso, muitas obras trazem uma

visão empírico-indutivista sobre a dinâmica científica (SILVA; PIMENTEL, 2008, p. 141).

Por sua vez, Piassi e colaboradores, ao analisarem a introdução do estudo do pensamento de Aristóteles nos livros didáticos de Física, verificam a existência de uma situação paradoxal, sobre a qual concluem que

a menção a fatos históricos está servindo justamente ao propósito contrário àquela que é normalmente apontada como a razão para a introdução da história da ciência no ensino: ao invés de servir para mostrar o conhecimento científico como resultado de um processo dinâmico, contraditório e não cumulativo, o que está se veiculando é justamente a ideia de uma ciência pronta e acabada, que se aproxima da verdade (PIASSI *et al.*, 2009, s.p.).

Avalio como significativas as evidências presentes nesses trabalhos, reforçando ainda haver um longo caminho a ser trilhado no sentido de tornar o discurso oficial (e o acadêmico) refletido na prática. Em outras palavras, fazer valer os propósitos de oferecimento de uma educação em Física comprometida com a formação de brasileiros mais críticos a respeito do funcionamento dessa ciência passaria pela incorporação nesse processo de uma HC relatada/retratada em sintonia com os critérios da MHC.

Todavia, tendo o objetivo de viabilizar a utilização da HC no EC, considero imperioso apresentar uma ressalva: apoiados pelos resultados supramencionados, alguns historiadores da ciência podem se sentir impelidos a desqualificar de antemão os materiais de vocação didática que, sob sua ótica, apresentam erros e distorções associados à HC a ser levada para as salas de aula.

Dentre outros fatores, em geral associados aos riscos de se fornecer uma visão equivocada a respeito da NdC, a principal justificativa recai sobre a suposta necessidade desses materiais manterem-se fieis aos critérios historiográficos trabalhados em nível acadêmico, evitando, por exemplo, a utilização de abordagens “anacrônicas”, “presentistas”, idolatrando alguns poucos “gênios iluminados” da ciência, de cunho exclusivamente “eurocêntrico”, “positivista” etc., características fortemente associadas à AHC.

Em alinhamento com meus ideais educacionais, acredito já ter deixado evidente minha opção pelo trabalho com a MHC, fato que me conduz a, em grande parte, compartilhar das preocupações dos historiadores da ciência. Contudo, como pretendo evidenciar na próxima seção, não é possível exigir dos docentes o domínio dos critérios historiográficos com a mesma profundidade que caracteriza as pesquisas realizadas pelos historiadores da ciência, dada a complexidade inerente ao trabalho com a HC. Ou seja, não bastaria ao professor ser colocado em contato com uma lista de critérios para, a médio ou curto prazo, tornar-se um *expert* em narrativas históricas

e abordagens historiográficas, sabendo separar o “joio” do “trigo”. A meu ver, o mais razoável seria admitir que a HC a ser levada para as salas de aulas – principalmente da Educação Básica – estará sempre limitada a uma moldura, reconstruída e narrada segundo as limitações e interesses educacionais dos professores.

Justifico essa visão com base em uma realidade com a qual os professores de ciências da Escola Básica convivem há décadas, e sem aparentemente terem que enfrentar maiores dilemas ou entraves em sua atuação: os professores de Física, por exemplo, têm claro que a ciência que trabalham em suas aulas não corresponde àquela desenvolvida em nível acadêmico. Em outras palavras, muitas e diversificadas são as variáveis Físicas desprezadas em situações ditas “cotidianas” (corpos rígidos deslizando sobre superfícies sem atrito, objetos lançados sob a ação da gravidade e livres da resistência do ar, fluidos oferecendo viscosidade nula, calorímetros com capacidades térmicas e coeficientes de dilatação nulos, fios e instrumentos de medidas sem resistência elétrica etc.) e aproximações para “modelos ideais” (sistemas termicamente isolados, gases perfeitos, sistemas de força isolados etc.) presentes nas situações discutidas nos contextos didáticos desses professores. E, como é sabido, nem por isso as possíveis (e compreensíveis) críticas dos bacharéis em Física chegam ao ponto de negar o mérito e a importância desse trabalho, de forma a cogitarem a necessidade de se apresentar aos alunos uma visão menos “distorcida” acerca do funcionamento dos fenômenos naturais.

Um exemplo emblemático envolvendo essa realidade é encontrado em Matthews (1995), ainda que apresentado em outro contexto: a interdependência entre teoria e observação e, como consequência, a importância em ciência de se construir objetos “cotidianos” idealizados, representá-los e, a seguir, manipulá-los matematicamente. Em suas palavras:

Todo estudante de Física aprende mecanicamente a lei do isocronismo do pêndulo: o período da uma oscilação é idêntico ao de qualquer outra, independentemente da amplitude e da massa do pêndulo. [...] Entretanto, ninguém tem dúvidas de que um pêndulo qualquer, de qualquer comprimento e massa, se posto em movimento, logo irá parar. Isto é uma prova conclusiva de que pêndulos não são isocrônicos: o período da última oscilação não é o mesmo da primeira; um pêndulo realmente isocrônico oscilaria indefinidamente. Como podemos conciliar a lei com a observação? Normalmente se diz: Esqueça o que vê e aprenda a lei. O que é uma forma mais sofisticada de se dizer: A ciência não lida com esses tipos de pêndulos que você usa, mas sim com pêndulos ideais para os quais não há atrito e pressão e onde o fio não possui peso etc.” (MATTHEWS, 1995, p. 181-182).

Tais modelos ideais representam simplificações ou aproximações que, reitero, não são consideradas propriamente distorções da realidade Física propaladas nos

materiais didáticos mais comumente utilizados pelos professores de Física, servindo de elementos facilitadores para a introdução dos alunos no universo das discussões envolvendo essa ciência natural em sintonia com os pré-requisitos passíveis de serem contemplados na Educação Básica.

Tal fato é justificado porque, a meu ver, o que hoje esses professores menos precisam é de motivos para se sentirem desmotivados ao tentarem experimentar, em sua prática diária, novas estratégias e ferramentas didáticas (como a HC).

A seção a seguir procura lançar luz sobre as dificuldades de consolidação dos critérios historiográficos junto aos profissionais que buscam promover a aproximação entre a HC e o EC. Para tanto, aproveitando o breve levantamento de artigos acadêmicos efetuado nesta seção, interessei-me por reconhecer nesse nicho o tipo de historiografia da ciência predominante que, em tese, teria papel de destaque na formação dos docentes em Física. A próxima seção delinea esse processo de busca, gerando resultados que exemplificam os critérios historiográficos descritivos da AMC e da MHC e, em última instância, oferecem melhor compreensão acerca da maneira pela qual os acadêmicos compreendem as possibilidades de interlocução entre a HC e o Ensino de Física.

1.2.4 – A História da Ciência e os periódicos da área de Ensino de Física: exemplos extraídos de artigos publicados nas últimas duas décadas

Ainda que não seja a palavra final no sentido de determinar a qualidade de um determinado periódico, ou de obter o aval das diversas áreas do conhecimento, o *webqualis Capes*² é um importante aplicativo de consulta na internet, cuja versão aberta permite, dentre outras possibilidades, encontrar informações a respeito de todos periódicos avaliados pela Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (Capes), do Ministério da Educação. Tal consulta pode ser realizada por ISSN (*International Standard Serial Number*), título do periódico, classificação, área de atuação ou da lista completa disponível no banco de dados.

Conforme já mencionado, escolhi dois periódicos nacionais, representativos de como a HC é retratada junto à área de Ensino de Física, visando caracterizar essa apropriação. São eles: a *Revista Brasileira de Ensino de Física* (RBEF) e o *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* (CBEF).

Ressalto que minha opção por trabalhar somente com periódicos nacionais vai ao encontro dos propósitos da análise que farei no capítulo 3, relacionada à seleção

² Disponível em: <http://qualis.capes.gov.br/webqualis/principal.seam>. Acesso: 03 de jun. 2014.

de episódios exclusivos da ciência brasileira voltados para a composição de materiais de cunho didático.

É extensa a lista de periódicos focados na apresentação de resultados, práticos e teóricos, relacionados ao EC no Brasil, dentre os quais os dois destacados encontram-se há mais de três décadas comprometidos especificamente com questões ligadas ao ensino da Física nos diversos níveis, o que se reflete no grande reconhecimento e prestígio que gozam junto aos professores e pesquisadores da área, motivo maior para os artigos que publicam serem citados de maneira recorrente nos trabalhos desses profissionais.

Vinculados a instituições de dois Estados com relevante produção acadêmica relacionada ao Ensino de Física – por sua vez, com necessidades proporcionalmente expressivas de enfrentamento dos problemas envolvendo a efetivação dos respectivos resultados obtidos – a RBEF e o CBEF sempre abriram espaço para, em maior ou menor proporção, a publicação de textos relacionados à HC.

A RBEF (ISSN 1806-9126) é um periódico da Sociedade Brasileira de Física (SBF), instituição sediada anexa ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP) que em 2014 completou seu 35º. aniversário. Tem frequência trimestral desde o ano de 1992, contando, portanto, com quatro edições anuais. Conta, em seu corpo editorial, com os(as) professores(as) Rita M. C. de Almeida, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Silvania S. do Nascimento, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Alberto Saa, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e Silvio R. A. Salinas, aposentado do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IF-USP).³ Tem conceito Qualis A1 (máximo) na área de Ensino, podendo ser considerado, portanto, um periódico de grande impacto nessa área. Na área de História, contudo, a RBEF sequer tem avaliação.

Quanto aos propósitos e principais objetivos, o site da RBEF declara tratar-se de uma publicação

voltada à melhoria do ensino de Física em todos os níveis de escolarização. Através da publicação de artigos de alta qualidade, revisados por pares, a revista busca promover e divulgar a Física e ciências correlatas, contribuindo para a educação científica da sociedade como um todo. Ela publica artigos sobre aspectos teóricos e experimentais de Física, materiais e métodos instrucionais, desenvolvimento de currículo, pesquisa em ensino, **história e filosofia da Física**, política educacional e outros temas pertinentes e

³ Disponível em: <http://rbef.sbfisica.org.br/index.php/rbef/about/editorialTeam>. Acesso: 23 de nov. 2015.

de interesse da comunidade engajada no ensino e pesquisa em Física⁴ (Grifo meu).

Cabe destacar que, desde 2005, a RBEF conta com a seção História da Física e Ciências Afins (HFCA). Portanto, sabendo que o próprio corpo editorial já seleciona e determina previamente os manuscritos que considera compatíveis com uma abordagem histórica, concentrei minhas atenções predominantemente na leitura dos artigos publicados nessa seção.

O CBEF (ISSN 2175-7941), publicado até o ano 2000 sob o nome de “Caderno Catarinense de Ensino de Ciência”, deixa de antemão clara sua origem, tendo completado trinta anos de atividades em 2014. Possui forte identidade com o departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no qual trabalha sua idealizadora e principal editora, a Prof^a. Sonia S. Peduzzi. Os professores Luiz O. Q. Peduzzi (UFSC) e Sayonara S. C. da Costa (PUC-RS) completam o atual quadro editorial. Obteve em 2015 o conceito Qualis B1 na área de Ensino, sendo considerado um periódico de grande referência na área. Da mesma maneira que a RBEF, o CBEF não possui Qualis Capes em História, fato sinalizador do distanciamento existente entre os propósitos específicos dos grupos que constituem essas duas grandes áreas do conhecimento.

Conforme destacado no site da internet do CBEF, trata-se de um periódico quadrimestral (três edições anuais),

voltado prioritariamente para os cursos de formação de professores de Física. Também é amplamente utilizado em pós-graduações em Ensino de Ciências/Física e em cursos de aperfeiçoamento para professores do Nível Médio. Tem por objetivo promover uma disseminação efetiva e permanente de experiências entre docentes e pesquisadores, visando a elevar a qualidade do ensino da Física tanto nas instituições formadoras de novos professores quanto nas escolas em que esses docentes irão atuar.⁵

Tal qual ocorrido com a RBEF, a existência de uma seção exclusiva de artigos sobre História e Filosofia da Ciência (HFC) permitiu focalizar nela a minha pesquisa. Contudo, essa seção passa a existir somente no ano de 2011, fato que me levou a procurar, com base nos respectivos títulos e resumos, artigos publicados no período compreendido entre 1996 e 2010 e que realmente apresentavam relatos, narrativas ou referências à HC.

Ainda que tenha optado por priorizar esses dois periódicos, considero relevante destacar a existência do reverso da moeda: se educadores em ciência têm

⁴ Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/ojs/index.php/rbef>. Acesso: 03 de jun. 2014.

⁵ Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/about/editorialPolicies#focusAndScope>. Acesso: 03 de jun. 2014.

demonstrado há décadas o interesse pela divulgação de pesquisas envolvendo a aproximação HC – EC, os historiadores da ciência têm gradualmente aberto espaço em publicações e eventos específicos da área de HC para divulgação de pesquisas que também abarcam essa temática.

Conforme já destacado, a institucionalização da HC enquanto campo do conhecimento data do início do século XX, dando origem, desde então, a uma grande quantidade de sociedades científicas espalhadas pelo mundo, servindo de referência e defendendo os interesses daqueles dedicados ao seu estudo. Nesse contexto, o Brasil não é uma exceção. Contando com instituições voltadas para a preservação da história de diferentes áreas da ciência, merecem destaque a Sociedade Brasileira de História da Ciência (SBHC), a Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia (ABFHiB), a Sociedade Brasileira de História da Medicina (SBHM), a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e a Sociedade Brasileira de História da Matemática (SBHMat).

Dentre as diversas linhas de pesquisa passíveis de serem exploradas, a aproximação entre a HC e o Ensino, em seus diversos níveis, parece apresentar uma tendência ao crescimento, fato reforçado pelo gradual aumento do espaço oferecido a essa temática, nos últimos anos, em eventos científicos e nos periódicos da área sob a responsabilidade das instituições mencionadas.

Por exemplo, há mais de duas décadas a SBHC organiza um grande evento nacional (o Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia – SNHCT), voltado para a divulgação e discussão do estado da arte da produção realizada na área. Completando sua 14ª. edição em 2014, o SNHCT contou, nas edições ocorridas nos anos de 2008 e 2012, com simpósios temáticos abarcando trabalhos sobre a interface História da Ciência – Ensino, nos quais foram apresentados, respectivamente, 23 e 26 trabalhos. Em 2014, dos 36 simpósios temáticos oferecidos no 14º. SNHCT, dois foram dedicados a acolher participantes preocupados com essa aproximação, contando com um número total de trabalhos superior aos apresentados em 2008 e em 2012. Outro fato que merece destaque é o aumento de IES com pesquisadores envolvidos na proposição dos simpósios, o que indica um aumento de Estados brasileiros contando com grupos de pesquisa investigando essa temática, realidade corroborada pelas informações apresentadas a seguir, referentes a três das quatro últimas versões desse evento:

- 11º. SNHCT (2008) - 01 simpósio temático, “História e Filosofia da Ciência no Ensino”, proposto pela Profª. Ana Paula Bispo da Silva (UEPB) e pelo Prof. João José Caluzi (UNESP);

- 13º. SNHCT (2012) - 01 simpósio temático, “História e Filosofia da Ciência no Ensino”, proposto pela Profª. Ana Paula Bispo da Silva (UEPB) e pela Profª. Andreia Guerra de Moraes (Cefet-RJ); e
- 14º. SNHCT (2014) - 02 simpósios temáticos: “Estudos em História e Filosofia das Ciências e suas Implicações para o Ensino de Ciências”, proposto pela Profª. Ana Paula Bispo da Silva (UEPB) e pelo Prof. Elder Sales Teixeira (UEFS); e “História da Ciência e Ensino: ações da interface”, proposto pelo Prof. Deivid Marcio Marques (UFU) e pela Profª. Maria Helena Roxo Beltran (PUC-SP).

Percebe-se, assim, que os historiadores da ciência também se preocupam com as apropriações que o Ensino faz acerca de seu objeto maior de estudo, o que se reflete na escrita e na publicação de material especializado.

Herdeira direta da antiga *Revista da SBHC*, publicada entre 1985 e 2007 (com um hiato de 4 anos sem publicações, entre 1999 e 2002), a *Revista Brasileira de História da Ciência* (RBHC – ISSN: 2176-3275) tem, desde 2003, periodicidade semestral, e segue como instrumento oficial de publicação da SBHC, cuja sede se situa na cidade do Rio de Janeiro (RJ), sem vínculo oficial com qualquer universidade. Seus editores são o Prof. Thomas Augusto Santoro Haddad, da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH/USP), e a Profª. Heloisa Meireles Gesteira, do Museu de Astronomia e Ciências Afins (Mast), tendo atualmente Qualis Capes B1 em História e, também, em Ensino.

Quanto à proposta, afirma-se comprometida com a divulgação de

trabalhos originais e de reconhecida qualidade na área de História da Ciência e da Tecnologia no Brasil, reconhecendo a importância de sua articulação com os campos da Filosofia, Sociologia e **Ensino de Ciências**, no intuito de aprimorar o conhecimento, complementar trabalhos, estimular e contribuir para a consolidação das atividades de pesquisa em ensino pós-graduado na área⁶ (Grifo meu).

Corroborando essa preocupação, os editores da RBHC publicaram, na edição número 2 do ano de 2014, um dossiê divulgando resultados de pesquisas exclusivamente relacionadas às interlocuções entre a HC e o EC, contendo 15 artigos.

Além das publicações destinadas aos educadores que fazem a interlocução com a HC e, no outro sentido, periódicos de cunho histórico abordando o EC, há uma terceira via. No caso, seriam periódicos com vocação original “híbrida”, ou seja, são *a priori* comprometidos com o trabalho na chamada interface História da Ciência – Ensino de Ciências (HC – EC). Em nível mundial, o periódico *Science & Education* é o

⁶ Disponível em: http://www.sbh.org.br/conteudo/view?ID_CONTEUDO=609. Acesso: 05 de jun. 2014.

principal representante dessa vertente. Trata-se de um periódico que publica os resultados de pesquisas utilizando abordagens históricas, filosóficas e sociológicas com o objetivo de aprimorar o ensino-aprendizagem e os currículos em ciências e matemática⁷. Esse periódico possui particular impacto junto aos pesquisadores brasileiros que investigam a interface HC – EC, fato corroborado pela recorrência com que são citados os trabalhos do editor desse periódico, o Prof. Michael R. Matthews. Talvez até por conta dessa forte influência, é incomum no Brasil encontrarmos publicações focadas exclusivamente na aproximação HC – EC. Apresentando-se como referência nesse nicho, temos o periódico *História da Ciência e Ensino: construindo interfaces* (HCE – ISSN 2178-2911), do Centro Simão Mathias de Estudos em História da Ciência (CESIMA), ligado à Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP). Com periodicidade semestral, a HCE é uma publicação relativamente recente (iniciada no ano de 2010), desde o início em versão *online*, sob a responsabilidade editorial dos professores Fumikazu Saito e Maria Helena R. Beltran, historiadores da ciência da PUC-SP.

Informações extraídas da página na *internet* declaram que o periódico

é dirigido a educadores e pesquisadores em Educação e em História da Ciência e tem por objetivo responder a uma constante solicitação de educadores, apresentando tendências e propostas que possam contribuir para a construção de interfaces entre História da Ciência e Ensino. [...] Os editores deste periódico esperam trazer ao leitor material que contribua para estimular e aprofundar reflexões e discussões, bem como elaboração de novas propostas de interação entre História da Ciência e Ensino para sala de aula⁸.

Vale destacar que o CESIMA edita também o periódico *Circumscribere*, uma revista *online* destinada à publicação de pesquisas em História da Ciência e campos afins. Assim, os editores da HCE, em tese, podem concentrar seus esforços em ações efetivamente destinadas ao oferecimento de contribuições à Educação advindas da HC, consubstanciadas por “propostas de interação entre essas duas áreas pautadas em diferentes correntes pedagógicas e em algumas perspectivas historiográficas”, segundo revelam seus editores no *site* já referenciado.

Feito esse extenso destaque, retomo o fio da meada e apresento a seguir os excertos extraídos dos artigos selecionados, publicados pela RBEF e pelo CBEF, representativos dos critérios caracterizadores das vertentes historiográficas sobre as quais discorri anteriormente (AHC e MHC). São destacados três exemplos para cada critério, referentes a cada uma das duas vertentes, sendo todos brevemente

⁷ Disponível em: <http://link.springer.com/journal/11191>. Acesso: 05 de jun. 2014.

⁸ Disponível em: <http://revistas.pucsp.br/hcensino>. Acesso: 06 de jun. 2014.

comentados com o intuito de dirimir dúvidas que possam surgir em relação à compreensão do critério em evidência.

Antiga Historiografia da Ciência: critérios e exemplos

1. Apresentação de abordagens extensivas (“enciclopédicas”), pautadas pela compilação exaustiva de nomes, datas e acontecimentos.

Exemplo 1:

O Prêmio Nobel de Física (PNF) de 2013 foi concedido aos físicos, o inglês Peter Ware Higgs (n.1929) e o belga François Englert (n.1932) pela “descoberta teórica de um mecanismo que contribui para o entendimento da origem da massa das partículas subatômicas”. A partícula decorrente desse mecanismo, conhecida então como bóson de Higgs, prevista em 1964, teve uma evidência de 3σ (o que não garante sua confirmação, como veremos mais adiante) em experiências realizadas por colaborações dos dois principais aceleradores do mundo: o Tevatron New Phenomena & Higgs Working Group: Combined D0/CDF do Fermi National Accelerator Laboratory (FERMILAB), nos Estados Unidos, e A Toroidal LHC ApparatuS (ATLAS) e Compact Muon Solenoid (CMS) do Large Hadron Collider (LHC), do Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (hoje: European Organization for Nuclear Research) (CERN), na Europa, e, finalmente, ela foi anunciada em julho de 2012, com um nível de confiança de 5σ , que é um critério internacional sobre a existência de uma partícula, como veremos no decorrer deste artigo. Higgs nasceu em 29 de maio de 1929 em Elswick, distrito de Newcastle upon Tyne, na Inglaterra. Devido à asma, que adquiriu na infância, seus primeiros estudos foram realizados praticamente em casa. Depois que seu pai, engenheiro de som da British Broadcasting Corporation ("Corporação Britânica de Radiodifusão") (BBC), se transferiu para Bedford, perto de Bristol, Higgs estudou, entre 1941 e 1946, na Cotham Grammar School, em Bristol, que se tornara célebre por ter o físico inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984; PNF, 1933) (BASSALO; CARUSO, Dirac, Livraria da Física, 2013) como um de seus alunos. Com 17 anos de idade, em 1946, Higgs foi estudar na City of London School, especializando-se em Matemática. Logo depois, em 1947, ele entrou para o King's College, em Londres, graduando-se em Física, em 1950, como o primeiro aluno de sua classe; em 1952, obteve o Mestrado em Física, e começou a realizar seu doutoramento no grupo de Física Molecular, trabalhando com os químicos teóricos ingleses Charles Alfred Coulson (1910-1974) (também matemático aplicado) e Hugh Christopher Longuet-Higgins (1923-2004), sendo este aluno de doutorado de Coulson na Universidade de Oxford. Higgs defendeu sua Tese de Doutorado, em 1954, intitulada *Some Problems in the Theory of Molecular Vibrations* (“Alguns Problemas na Teoria das Vibrações Moleculares”), sob a orientação de Coulson. Entre 1954 e 1956, Higgs foi Pesquisador Sênior da University of Edinburgh (UE), voltando a essa Universidade, em 1960, para ser *Lecturer* no Tait Institute of Mathematical Physics, depois de trabalhar no Imperial College London e University College. Em 1980, assumiu a Cadeira de Física da UE e, em 1983, tornou-se Membro (Fellow) da Royal Society of Edinburgh (RSE) e da Royal Society of London (RSL) e, em 1991, do Institute of Physics (IP). Aposentou-se da UE, em 1996, ocasião em que recebeu o título de Professor Emérito.

Destaque-se que, antes de compartilhar o PNF2013, Higgs recebeu outras honrarias, tais como: em 1981, Hughes Medal da RSL; em 1984, Rutherford Medal and Prize do Institute of Physics (IP); em 1997, Dirac Medal and Prize do IP e High Energy and Particle Physics Prize da European Physical Society (EPS) [este, com os físicos belgas Englert e Robert Brout (1928-2011)]; em 2004, Wolf Prize in Physics (com Englert e Brout) pela Wolf Foundation; em 2008, foi retratado pelo artista inglês Ken Currie (n.1960); em 2009, Oskar Klein Memorial Lecture Medal da Royal Swedish Academy of Sciences (RSAS); em 2010, J. J. Sakurai Prize for Theoretical Particle Physics [com Englert, Brout e os físicos, os norte-americanos Gerald Stanford Guralnik (n.1936) e Carl Richard Hagen (n.1937), e o indiano inglês Thomas Walter Bannerman Kibble (n.1932)] da American Physical Society (APS); em 2011, Edinburgh Award da City of Edinburgh Council; e, em 2012, Higgs Medal da RSE. Por fim, em 06 de julho de 2012, a UE criou o The Higgs Center for Theoretical Physics e a Chair Peter Higgs. Aliás, é interessante registrar que, como Higgs não tem telefone celular e quase não usa o seu fixo, ele soube que havia compartilhado o PNF2013, por intermédio de uma mulher que o abordou em uma rua em Edinburgh e o congratulou (wikipedia/Higgs). Note-se que, no dia 08 de dezembro de 2013, Higgs apresentou sua Nobel Lecture: Evading the Goldstone Theorem (“Contornando o Teorema de Goldstone”) (BASSALO, 2013, p. 306 – 308).

Comentários: A profusão de dados e informações oferecidas no excerto, referentes a somente um dos laureados com o Prêmio Nobel de Física, de pouco auxiliam na compreensão do trabalho realizado por esse pesquisador – dentre as quais merece especial destaque a notícia de que Higgs não possui telefone celular. A série de nomes de cientistas, instituições e prêmios citados não tem efetiva relevância no sentido de esclarecer ao leitor sobre o que, de fato, tornou o trabalho de Higgs passível de se premiado. A introdução no texto do nome de Dirac, por exemplo, não tem qualquer conexão com o teor do que é abordado. Ademais, com informações da mesma natureza, a apresentação do histórico do outro físico laureado com o prêmio Nobel, Francis Englert, é feito na sequência e ocupa três pequenos parágrafos, evidenciando a necessidade do autor em ressaltar exclusivamente características da vida e da obra da personalidade mais conhecida do público geral, dando margem ao entendimento de que as contribuições de Englert foram inferiores. Ao proceder assim, o autor não favorece ao leitor, por exemplo, compreender que a ciência é um empreendimento construído e conduzido de forma coletiva, no qual nomes que em geral são relegados aos bastidores têm importância equivalente nos resultados finais obtidos à daqueles cientistas que, por motivos diversos, obtiveram maior publicidade e destaque.

Exemplo 2:

En el presente trabajo, hemos recogido las distintas concepciones que se han sostenido en distintos momentos de la historia de la

ciencia en torno al concepto de espacio vacío. Estas concepciones tuvieron una gran influencia en la formación y desarrollo de conceptos en varias áreas de las ciencias Físicas. De hecho, las concepciones *plenistas* negadoras del espacio vacío se erigieron en algunos períodos de la historia del pensamiento en verdaderos *obstáculos epistemológicos* que frenaron el progreso científico.

Hemos dividido la historia de la ciencia en ocho bloques: Ciencia Griega, Ciencia Árabe, Escolásticos, Renacimiento, Siglo XVII, Siglo XVIII, Siglo XIX y Siglo XX. Comenzaremos, pues, con las ideas de los filósofos griegos y acabaremos con las ideas aceptadas por la mayoría de la comunidad científica contemporánea (SOLAZ-PORTOLÈS; MORENO-CABO, p. 194, 1997, destaques em itálico no original).

Comentários: Discussões abarcando a temática do espaço vazio ao longo da HC dificilmente são efetivas e coerentes quando perpassam épocas social e culturalmente tão distintas, em especial se tentarem cotejar visões envolvendo a noção de vácuo em cada um desses contextos. No caso, o período escolhido pelos autores engloba mais de 25 séculos, com o agravante de almejam conciliar uma suposta visão árabe do conceito de vácuo com aquilo em que no Ocidente, então, se acreditava. O resultado final é a exposição superficial de uma série de informações desconexas e inconciliáveis sobre 2500 anos de história envolvendo o “desenvolvimento” de um conceito – que até hoje se mostra controverso – em cerca de uma dúzia de páginas. No caso, seria preferível que os autores tivessem optado por realizar um recorte temporal mais preciso, que lhes permitisse promover uma interlocução mais natural e factível entre os personagens, fatos e ideias associadas em cada contexto sócio-histórico-cultural envolvendo o conceito em questão.

Exemplo 3:

Em 1656, o físico holandês Christiaan Huygens (1629-1695) descobriu que o período de um pêndulo é independente de sua amplitude.

Em 1657-1658, Huygens utilizou sua descoberta de ser o período de um pêndulo independente de sua amplitude, para construir o primeiro relógio de pêndulo.

Em 1659, Huygens demonstrou matematicamente que a trajetória cicloidal é a que torna o período do pêndulo independente de sua amplitude. Com isso, determinou a relação entre o tempo de queda de um corpo ao longo de uma cicloide e o tempo de sua queda ao longo do diâmetro de seu círculo gerador. De posse dessa relação, obteve pela primeira vez a fórmula do tempo de oscilação simples de

um pêndulo: $T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ e, com esta, determinou para a aceleração da gravidade, o valor $g = 9,806 \text{ m/s}^2$, usando para essa determinação um pêndulo de comprimento igual a 6,18 polegadas e com 4964 oscilações duplas por hora.

Em 1660, o físico e químico inglês Robert Boyle (1627-1691) ao obter empiricamente sua famosa lei: “É constante o produto da pressão (P) pelo volume (V) de um gás à temperatura fixa: $PV = \text{constante}$ ”, fez uma distinção clara entre **peso** e **pressão**.

Em 1662, Lord Brouncker confirmou a descoberta de Huygens, isto é: a trajetória cicloidal é a que torna o período do pêndulo independente de sua amplitude.

Em 1663, Florin e Guillaume Desprez publicaram nos livros: *Traité de l'Equilibre des Liquers (Tratado do Equilíbrio dos Líquidos)* e *Traité de la Pesanteur de la Masse de l'Air (Tratado do Peso da Massa do Ar)*, os trabalhos realizados por Pascal, entre 1649 e 1654, sobre o equilíbrio dos líquidos e o “vácuo torricelliano”.

Em 1668, a *Royal Society of London* formulou um convite aos cientistas para que apresentassem um melhor estudo sobre o problema da colisão dos corpos. Aceitaram esse convite, além de Huygens, os matemáticos ingleses John Wallis (1616-1703) e Sir Christopher Wren (1632-1723). Nesse mesmo ano, e como consequência desse convite, Wallis descobriu a conservação do momento linear na colisão de corpos.

Em 1668, Roberval parece haver sido o primeiro a formular o **princípio do paralelograma das forças**, que é uma regra geométrica para compor forças.

Em 1669, Roberval inventou uma balança - **a balança de Roberval** - que consta, basicamente, de quatro hastes formando um paralelograma de ângulos variáveis. Os lados opostos, o superior e o inferior, são capazes de girar em torno de seus pontos médios. Nos dois outros lados verticais estão adaptados os pratos da balança. Se dois pesos iguais forem colocados nos pratos dessa balança, a mesma ficará em equilíbrio qualquer que seja a posição que esses dois pesos ocupem nos pratos.

Em 1669, Huygens apresentou à *Royal Society* seu estudo sobre o choque recíproco de dois corpos. Nele, há a demonstração de que a soma dos produtos das massas pelos quadrados das velocidades permanece a mesma antes e depois do choque, assim como a demonstração de que a velocidade do centro de gravidade dos corpos antes e depois da colisão permanece inalterada.

Em 1670, o relojoeiro inglês William Clement construiu um relógio bastante preciso, ao reduzir a oscilação do pêndulo (com cerca de um metro de comprimento) a pequenos arcos, em torno de três a quatro graus (BASSALO, 1996, p.40-41, grifos no original).

Comentários: A relação de datas, nomes e acontecimentos – ainda que contida em um artigo intitulado “Nascimentos da Física” – não permite ao leitor compreender a sucessão dos fatos apresentados, ao qual provavelmente restará a sensação de não haver qualquer relação entre os trabalhos e realizações das personalidades citadas. Ao omitir o contexto sociocultural envolvendo os fatos mencionados, a impressão sugerida ao leitor é a de que a ciência existe e atua independentemente da sociedade, prescindindo de um efetivo diálogo com a mesma. No excerto seria possível, por exemplo, expor os motivos que levaram as personalidades da época a se preocuparem com o aprimoramento dos instrumentos de medida de tempo. Dentre outros fatores, os estudiosos envolvidos com a problemática procuravam, na verdade, dar respostas para uma demanda de natureza econômico-social: a necessidade de oferecerem aos desbravadores das terras ultramarinhas um instrumento que lhes permitisse situar-se com precisão ao longo de suas viagens. Após diversas perdas

materiais e humanas, a coroa britânica chega ao ponto de instituir uma expressiva premiação em dinheiro – para britânicos ou estrangeiros – a quem conseguisse propor um método para determinar a longitude com exatidão (e isso passava obviamente pelo desenvolvimento de relógios precisos que funcionassem em alto mar)⁹. Omitir essa informação é contentar-se com o oferecimento de dados soltos e acessórios, dando a entender que a ciência progride por acumulação simples e direta de conquistas isoladas oferecidas por algumas mentes privilegiadas.

2. Atemporalidade das proposições efetuadas em ciência, reforçada por uma abordagem anacrônica e presentista considerando que as ideias em ciência mudam somente devido à racionalidade, ao olhar para o passado com os valores, conceitos e pensamentos do presente procurando apenas aquilo que parece ter dado origem ao que hoje se reconhece como correto.

Exemplo 1:

Thomas Kuhn analisa e avalia a importância dos trabalhos desta plêiade de cientistas: J. P. Joule, J. Mayer, M. Faraday, C. F. Mohr, W. Grove, S. Carnot e outros, (Kuhn relaciona uns doze pioneiros, além de Helmholtz) que partiram da análise dos processos de conversão de Força (Energia) nos diferentes processos - mecânicos, químicos, elétricos, magnéticos - e culminaram na elaboração de um princípio de conservação, sem no entanto, atingirem uma formulação geral como a proposta de Helmholtz [A conservação da energia é um princípio universal da natureza]. São trabalhos notáveis e interessantes que foram produzidos por vias distintas, despertando em Thomas Kuhn a ideia de que constituem, na realidade, descobertas simultâneas [...] O exame desses trabalhos, segundo pesquisadores da história da Ciência, dá a impressão que estes cientistas falam de coisas distintas, porém empregando a terminologia e conceitos modernos, concluiu-se que todos referem-se ao mesmo aspecto da natureza (BAPTISTA, 2006, p. 552).

Comentários: Seria importante que o autor realizasse um detalhamento, breve que fosse, dos argumentos utilizados pelos aludidos “pesquisadores em História da Ciência” dando sustentação à afirmação de que os cientistas mencionados falavam do mesmo aspecto da Natureza (no caso, o princípio de conservação da energia). Como está colocado, transparece a necessidade de se identificar em um determinado momento histórico elementos corroborando fenômenos, grandezas Físicas e leis que somente conquistaram junto à comunidade científica o *status* de válidas e corretas a *posteriori*. Em se tratando de análises de diferentes formas de conversão, associadas

⁹ Mesmo não se tratando uma obra escrita por um historiador da ciência, visto tratar-se de um *best seller* voltado para a divulgação científica, o livro de Sobel (1995) retrata esta questão de maneira simples e objetiva, suficiente para motivar os estudantes a se interessarem e quererem saber mais sobre esse importante episódio da HC. Há, inclusive, uma versão de bolso editada pela editora Cia. das Letras.

a distintos processos (mecânicos, químicos, elétricos etc.), os empreendedores dessas ações certamente apresentavam motivações, financiamentos, interesses e, portanto, filosofias de vida e de trabalho muito diferentes. Essas características, por si, dão margem a discussões visando à identificação dos aspectos de natureza sócio-histórico-cultural caracterizadores do ambiente em que cada uma das personalidades mencionadas viveu e ofereceu suas contribuições.

Exemplo 2:

Logo de início, fica claro que apesar de ter desenvolvido excelentes termômetros, para a época em que viveu, Fahrenheit ainda não distinguia bem as ideias de calor e temperatura. Note-se, por exemplo, que Fahrenheit referia-se a determinar o calor dos líquidos em ebulição, quando hoje diríamos a temperatura de ebulição. Essa distinção só começaria a ser feita com os trabalhos de Black, por volta da metade do século XVIII, marcando o início da calorimetria (MEDEIROS, 2007, p. 161).

Comentários: Os termômetros de Fahrenheit datam da primeira metade do séc. XVIII e, como bem colocou o autor, tanto ele quanto a imensa maioria dos estudiosos dos chamados *fenômenos térmicos* não distinguiam entre os conceitos de “calor” e “temperatura”, ao menos da forma que a ciência o faz na atualidade. Portanto, considerando aquilo que Thomas Kuhn denomina *ciência normal*, é adequado afirmar que a prática científica de Fahrenheit em nada deixava a desejar em relação àquilo que movia e dava sustentação aos demais praticantes de ciência de sua época. Os trabalhos de Joseph Black, citados no artigo como demarcadores do início da calorimetria, não surgem do nada como o texto parece sugerir. Até porque o “calor” de Black – como dificilmente deixaria de ser – era um fluido (o calórico), como tantos outros (flogístico, fluido magnético, éter etc.) que serviam de sustentação para um grande número de trabalhos sobre filosofia natural desenvolvidos no séc. XVIII. Ou seja, a “calorimetria” de Black, um constructo aparentemente mais evoluído do que os estudos sobre fenômenos térmicos desenvolvidos por Fahrenheit, não é a mesma trabalhada atualmente nas aulas de Física da Escola Básica, visto que a noção de calor hoje vigente está associada a modelos de matéria, e de energia, inexistentes até então.

Exemplo 3:

Bartolomeu Lourenço de Gusmão foi o primeiro inventor e cientista brasileiro, célebre pela criação do balão a ar quente em 1709. Nos 300 anos de sua mais famosa invenção, este artigo apresenta uma nova biografia do fundador da Aerostática e um estudo original dos seus inventos. [...] O aerostato é uma das poucas invenções que poderiam ter ocorrido em praticamente qualquer época da humanidade. A elevação da fumaça produzida por fogueiras sempre

foi um dos sinais mais perceptíveis ao homem de que o ar, uma vez aquecido, tende a subir, e muitos povos antigos produziam os tecidos leves e fortemente trançados necessários para se coser um balão (VISONI; CANALLE, 2009a, p. 3604-1).

Comentários: Mesmo considerando que a observação do movimento ascensional da fumaça produzida em fogueiras remonte às mais priscas eras da humanidade, daí a afirmar que o “aerostato é uma das poucas invenções que poderiam ter ocorrido em praticamente qualquer época da humanidade” há uma importante distância. Nada garante que culturas de origem não europeias não tenham fabricado artefatos capazes de se elevarem por meio do ar aquecido muito antes do Padre Bartholomeu de Gusmão sem, contudo, terem encontrado motivos para concretamente registrarem, publicizarem e aprimorarem tais constructos. Nesse sentido, o caso da “Passarola” de Gusmão é emblemático. Tendo alçado seu primeiro voo em 1709, esse invento se limitou a despertar o espanto e a curiosidade daqueles que puderam testemunhar (ou ouvir falar sobre) o ocorrido. Os conhecimentos científicos necessários para a compreensão dos fenômenos físicos envolvidos na fabricação de aerostatos suficientemente seguros para o transporte de pessoas e cargas (constituição e comportamento térmico dos gases, leis da Hidrodinâmica etc.) só tomaram corpo no final do séc. XVIII, dando origem aos diversos artefatos aerostáticos (balões e dirigíveis, essencialmente) desenvolvidos ao longo do séc. XIX e início do séc. XX.

3. *Busca e apologia dos precursores “geniais e iluminados” das teorias atualmente aceitas.*

Exemplo 1:

Clausius foi o primeiro a enunciar a Segunda Lei [da Termodinâmica]; sua formulação pode ser parafraseada: O calor transmite-se no sentido de equalizar temperaturas, portanto passa espontaneamente de um corpo para outro de temperatura mais baixa. William Thomson enunciou a lei de um modo diferente: Uma transformação, cujo único resultado final seja transformar em trabalho o calor extraído de uma fonte que está a uma única temperatura, é impossível. Os dois enunciados são equivalentes [...] [T]emperatura, como demonstrado por Clausius, em 1857, é a medida da energia cinética média das moléculas (FELDENS *et al.*, 2010, p. 2602-2).

Comentários: A busca pelos precursores dos conhecimentos atualmente considerados válidos pode, em muitas oportunidades, fazer com que determinada personalidade torne-se reconhecida por algo que, de fato, não propôs ou formulou (ao menos na época e da forma como a literatura consagrou). Trata-se de uma postura relativamente comum entre alguns autores, mesmo quando recorrem à leitura de fontes primárias. Esse hábito provavelmente acabou por induzir ao erro os autores do artigo em

referência. Rudolf Clausius (1822 – 1888) não detém a primazia da formulação da 2ª. Lei da Termodinâmica, proposta originalmente pelo francês Sadi Carnot (1796 – 1832) mais de duas décadas antes do referenciado no texto. Clausius parte da reinterpretção dos trabalhos de Carnot – que acreditava ser o calor um fluido (o “calórico”) – envolvendo máquinas térmicas para propor um modelo mecânico para a explicação desse fenômeno. Um reflexo disso é a definição de temperatura presente no mencionado artigo de 1857, de Clausius. Na tentativa de tornar mais claras as consequências desse modelo, os autores apresentam uma definição para a 2ª. Lei da Termodinâmica que, na realidade, expressa somente uma consequência da chamada “Lei Zero da Termodinâmica”, sem efetivamente dar margem à inferência do conceito de Entropia, ao contrário do que ocorre com a definição da 2ª. Lei, atribuída no texto a William Thomson (1824 – 1907).

Exemplo 2:

Ao estudarmos o seu trabalho, notamos que Newton tinha uma ideia muito clara a respeito do movimento e a interação entre os corpos do Universo.

Com relação à interação, ele postulou que quando dois corpos interagem entre si, sempre surgem duas forças de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, cada uma delas atuando em um dos corpos interagentes. A essa ideia, deu-se o nome de *Princípio da Ação e Reação* ou 3ª. Lei de Newton.

Com relação ao movimento dos corpos, ele percebeu que quando todas as forças aplicadas em um certo corpo se anulam mutuamente, este corpo só pode ser encontrado em apenas dois estados: o estado de repouso ou o estado de movimento retilíneo uniforme, ambos em relação a um referencial inercial. E a essa ideia, deu-se o nome de *Princípio da Inércia* ou 1ª. Lei de Newton (GARDELLI, 1999, p. 44, grifos e itálicos no original).

Comentários: Ainda que o objetivo declarado pelo autor do artigo tenha sido, a partir de uma abordagem histórica, oferecer “uma possível explicação para a origem da inércia” (GARDELLI, 1999, p.43), seria mais que desejável e coerente um cuidado maior com o surgimento do termo “inércia”. É bem sabido que Newton não foi o primeiro a cunhar e definir esse conceito que, mesmo sob o viés simplista de uma historiografia eurocêntrica, mereceria ter sido apresentado a partir das contribuições de nomes como Filoponos, Buridan, Gassendi, Galileu e Descartes, por exemplo. Da forma como é apresentada no artigo, a inércia parece ter sua origem exclusivamente vinculada aos trabalhos de Newton, sob a forma de um princípio meramente derivado de conclusões extraídas dos esforços individuais e da genialidade dessa personagem.

Exemplo 3:

Ainda aluno [Enrico Fermi] publicou um trabalho importantíssimo sobre Relatividade Geral, descobrindo o que hoje se chama

transporte de Fermi-Walker, e estabelecendo-se como a autoridade mais influente em Física, em sua escola. Sua formação estava essencialmente completa. A partir daí raramente precisou ler livros de Física. Entre os poucos que ainda leu estão o grande livro de Dirac, *Principles of Quantum Mechanics*, e o de Weyl, *Gruppentheorie und Quantenmechanik* (FLEMING, 1996, p. 275).

Comentários: O italiano Enrico Fermi (1901 – 1954) é, sem dúvida, uma personalidade da ciência de grande destaque, merecedora de amplo reconhecimento por ter oferecido contribuições nas mais diversas áreas. Contudo, a apologia feita no artigo em torno do nome de Fermi acaba por deixar algumas lacunas importantes, pois se baseia na exposição de fatos e acontecimentos que não são devidamente explicitados, no sentido de permitir ao leitor a compreensão de cada fato e contribuição relatada. Esses relatos pontuais – caso do extrato em destaque – raramente são acompanhados pelas respectivas referências capazes de conferir-lhes a devida fidedignidade. O mencionado “transporte Fermi-Walker” em momento algum é explicado, com o agravante de nada ter sido dito acerca da participação do outro cientista que divide com Fermi o nome de tal efeito/equação/processo/lei (?). Confesso que eu próprio desconhecia tratar-se de um processo, principalmente devido ao mesmo ter uma aplicação muito particular em situações envolvendo a Relatividade Geral. Talvez por isso tenha sido tão trabalhoso descobrir o nome do britânico Arthur Geoffrey Walker (1909 – 2001), invariavelmente citado (ao contrário de Fermi) *en passant* nos trabalhos abordando o transporte Fermi-Walker. Outra menção que chama muito a atenção nesse extrato de texto é a aludida pouca necessidade de Fermi em ler livros de Física desde seus tempos de aluno. Por mais brilhante que tenha sido, não é razoável acreditar que Fermi tenha realizado seus feitos científicos somente com base em suas próprias ideias, hipóteses e experimentos. No caso, faltou destacar ao menos alguns cientistas – além de Dirac – que trabalharam com Fermi ou serviram de inspiração para suas ações.

4. *Noção de progresso como um processo linear, evolutivo e cumulativo, gerando um conhecimento “cada vez melhor” e aceito compulsoriamente pela comunidade científica.*

Exemplo 1:

Segundo Nollet, quando um corpo elétrico é excitado por fricção, parte deste fluido escapa através de seus poros, causando uma corrente efluente, sendo que essa perda é compensada por uma corrente afluyente do mesmo fluido vindo de fora [...]. As correntes efluente e afluyente diferiam não apenas em direção, mas também em velocidade e distribuição espacial. Ele explicou a atração e repulsão dos corpos leves nas vizinhanças do corpo eletrizado supondo que eles eram capturados por uma das duas correntes opostas de fluido

elétrico (NOLLET, 1753, p. 65-79). Suas ideias sobre eletricidade, quando apresentadas à *Académie Royale des Sciences* pela primeira vez em 1745 no texto *Conjectures sur les causes de l'électricité des corps*, foram imediatamente aceitas e reconhecidas; seus escritos posteriores foram tratados como contribuições importantes para o estudo da eletricidade (SILVA; PIMENTEL, 2008, p. 144).

Comentários: Esse extrato apresenta as contribuições para o estudo da Eletrostática do francês Jean-Antoine Nollet (1700 – 1770). Em especial, destaca sua defesa em relação à existência de um “fluido elétrico” responsável pelo processo de eletrização dos corpos diversos. Esses são aspectos característicos de uma abordagem relacionada à Moderna Historiografia da Ciência. Todavia, uma característica marcante da ciência é a relutância de seus atores em aceitar novas teorias e proposições de forma simplista, consensual e imediata. Portanto, salvo em função de algum fator de caráter extracientífico relacionado ao contexto em que Nollet estava inserido – que deveria ter sido destacado pelas autoras –, não é plausível aceitar que seus escritos e explicações tenham sido aceitos no meio acadêmico de forma tão imediata. Benjamin Franklin (1706 – 1790), por exemplo, na mesma época de Nollet defendia que a natureza da eletricidade seria devida à maior ou menor permeabilidade dos materiais a um único fluido (“fogo elétrico”), teoria que era compartilhada por outras personalidades ligadas à ciência, caso do italiano Giambattista Beccaria (1716 – 1781) e do alemão Franz Ulrich Theodor Aepinus (1724 – 1802). (CINDRA; TEIXEIRA, 2005, p. 388).

Exemplo 2:

A estratégia adotada por Santos Dumont para o problema do mais pesado que o ar foi tão simples quanto genial, e lhe permitiu ter sucesso onde outros falharam. Trabalhando unicamente com as forças aerodinâmicas básicas, ele conseguiu converter um dirigível (o Nº. 14) num avião funcional (o Oiseau de Proie II). Cumpriu, assim, o que ele próprio profetizara ainda em 1902: “O avião será atingido somente por meio da evolução, fazendo o dirigível passar por uma série de transformações análogas às metamorfoses pelas quais a crisálida se torna a borboleta” (VISONI; CANALLE, 2009b, p. 3605-5).

Comentários: Por mais convincente que seja o modo como essa narrativa apresenta a evolução dos balões até darem origem aos aviões, esse processo não se desenvolveu de maneira tão simplista. O fato de, em plena Revolução Industrial, os balões terem passado por mais de um século de desenvolvimentos para se tornarem dirigíveis suficientemente seguros evidencia as dificuldades enfrentadas pelos diversos técnicos, engenheiros e cientistas para estabelecerem as bases da Aerostação. A discussão apresentada no artigo envolvendo máquinas “mais leves” e “mais pesadas” que o ar (ou seja, entre Aerostação e Aviação) é confusa, mesmo que sustentadas por

falas do próprio Santos Dumont. Esse é um reflexo da distinção conceitual que deve ser feita entre os dispositivos que representam cada uma desses vertentes. O avião não pode ser considerado efetivamente uma evolução promovida em balões e dirigíveis, pois são distintas as bases teóricas que dão sustentação para as construções desses artefatos. Portanto, não havendo padrões que permitam colocar a ciência e a tecnologia que geraram tais constructos sob a mesma linha evolutiva, os autores do artigo deveriam relativizar a transição presente na última afirmação feita por Santos Dumont que, sendo ele um inventor conduzindo o desenvolvimento de seus artefatos, pôde prescindir do conhecimento mais rigoroso sobre as respectivas teorias científicas abarcadas.

Exemplo 3:

Ao abordar a origem da teoria da relatividade, o livro “A dança do universo” apresenta uma descrição histórica pouco fiel [...]. Em primeiro lugar, quanto aos experimentos de Michelson encontramos que:

Albert Michelson, cujo brilhante experimento, executado com Edward Morley em 1887, foi fundamental para que se estabelecesse a não-existência do éter, jamais aceitou seus próprios resultados. O que supostamente deveria ter sido um mero teste para confirmar a existência do éter transformou-se num pesadelo. (GLEISER, p.254, 1997)

Michelson, como a quase totalidade dos físicos da época, não colocava em dúvida a existência do éter, e por isso nunca pensaria em testar a sua existência. O que ele estava tentando fazer, em seus famosos experimentos, era medir a velocidade da Terra através do éter, admitindo o modelo de Fresnel de um éter estacionário (ou seja, que não era arrastado pela própria Terra). O resultado obtido, contrário à expectativa, podia ser interpretado de muitos modos diferentes. Albert Michelson não rejeitou os resultados do experimento, evidentemente, mas adotou uma interpretação que é diferente da relativística, posterior.

Por outro lado, nem o experimento de Michelson e Morley nem qualquer outro experimento permitem *estabelecer* a não existência do éter. Ao contrário do que popularmente se divulga, não existe nenhuma prova de que ele não existe: simplesmente a teoria da relatividade (no sentido de Einstein) adotou o princípio *epistemológico* de que não se deve utilizar na Física entes que não sejam observáveis, e assim rejeitou o éter, porque ele não havia sido detectado por meio de certas experiências. Outras pessoas aceitaram exatamente os mesmos experimentos, mas adotaram uma interpretação diferente (aceitando o éter), por utilizarem princípios *epistemológicos* diferentes (por exemplo, Poincaré).

O éter não era uma suposição tola [...]. No final do século XIX e início do século XX, o éter preenchia o papel de proporcionar uma explicação causal para alguns fenômenos físicos (por exemplo, propagação da luz e dos campos eletromagnéticos), e na versão de Lorentz e Poincaré permitia uma *explicação causal* de fenômenos como a contração dos corpos em movimento (essa contração seria causada por uma variação das forças eletromagnéticas entre as partículas do corpo, que, por sua vez, seria causada pelo movimento através do éter). O aumento de massa de um elétron era explicado a partir do momento acumulado ao redor deste, no éter, pelos campos

eletromagnéticos. Na versão de Einstein, a teoria da relatividade prevê os efeitos, mas não se preocupa em apresentar uma explicação causal dos fenômenos.

Não se pode, portanto, afirmar que “Michelson continuou a acreditar na existência do éter até o fim de sua vida, mesmo após a teoria da relatividade de Einstein ter elegantemente *demonstrado que esse meio era completamente desnecessário*” (GLEISER, p. 254, 1997). A teoria de Einstein permitia fazer deduções sem fazer referência ao éter, mas isso não indica que este era completamente desnecessário. É bem sabido, aliás, que na década de 1920 Einstein voltou a aceitar a existência do éter (MARTINS, 1998a, p. 266 – 267, grifos em *italico* no original).

Comentários: Esse longo extrato foi escolhido para, além de compor os exemplos do critério historiográfico em referência, dar espaço a um tipo de trabalho efetuado por especialistas em HC que é muito recorrente em periódicos fortemente ligados ao Ensino de Ciências: críticas contumazes às apropriações equivocadas e distorcidas de episódios da HC. Neste caso em particular, percebe-se a preocupação com asserções envolvendo a participação de determinados personagens, em materiais de divulgação científica, sem o devido respaldo histórico. Conforme detalhado com rigor e precisão pelo autor desse artigo, o Experimento de Michelson e Morley (EMM) é um clássico exemplo de “desenvolvimento científico” que não ocorreu da forma como muitos livros didáticos e outros tantos destinados à divulgação científica insistem em descrever. A noção de que o éter tenha sua existência refutada desde o EEM não é incomum, inclusive, junto àqueles que trabalham nos dias de hoje com outras “entidades Físicas” essencialmente voltadas a explicações causais, sendo cruciais para a sustentação de teorias Físicas desenvolvidas na atualidade. Por isso, não deveriam ser vistas como um conjunto de conhecimentos efetivamente mais evoluídos e consistentes que aqueles desenvolvidos com base na existência do éter. Dois exemplos emblemáticos dessa realidade são a “energia escura” e a “matéria escura”, soluções *ad hoc* para teorias gravitacionais que servem de ponto de partida para as mais diversas investigações realizadas “modernamente” em Astronomia e Astrofísica.

5. *Crença na existência de um caminho assertivo em direção à verdade, desconsiderando o papel dos erros e de elementos extracientíficos nesse processo.*

Exemplo 1:

A relatividade Restrita toma forma definitiva em 1905, após longos anos de dificuldades diversas; dificuldades que em particular Lorentz tentava resolver graças a hipóteses *ad-hoc*. Einstein foi, a este respeito, o melhor artesão, insistindo em um caminho profícuo. É que em Física, a cinemática, a ciência da descrição do movimento, é o pré-requisito fundamental para todo o resto: sem cinemática, não se pode fazer nada, não se pode ir além. Ela é a base de toda a Física. Assim a relatividade Restrita torna-se, ou mais precisamente deveria

se tornar, de um dia a outro, "a cinemática moderna" que, se não toda Física, pelo menos a Física dos movimentos rápidos deve, a partir daquele momento, empregar. Por outro lado, não há necessidade de "relativizar" o eletromagnetismo pois ele já obedece à relatividade Restrita. O que mostra até que ponto essas novas ideias são necessárias, já que elas se encontram incluídas no eletromagnetismo de Maxwell (EISENSTAEDT; FABRIS, 2004, p. 186).

Comentários: A apologia à Cinemática feita pelos autores não encontra ressonância em diversos trabalhos da área de Ensino de Física formulados nas últimas duas décadas (dissertações de mestrado, teses de doutorado, artigos acadêmicos, comunicações em eventos científicos etc.), que defendem a relativização da importância e da presença desse ramo da Física nos livros didáticos do Ensino Médio. Um claro reflexo desse fato foram as mudanças expressivas promovidas nos conteúdos desses materiais, de modo a dar mais ênfase e destaque para assuntos que eram até então tratados como apêndices, caso da Teoria da Relatividade Restrita (TRR). Por sua vez, considerando a complexidade do necessário ferramental matemático e, também, dos desejáveis conhecimentos prévios dos estudantes a respeito da Eletrodinâmica, é muito comum a TRR ser trabalhada no ensino médio em nível fenomenológico e, principalmente, histórico. Nesse sentido, a escolha dos autores do artigo em referência em atribuir a Einstein o papel de melhor e mais profícuo "artesão" dessa teoria não encontra respaldo histórico. Longe de desmerecer a importância do legado de Einstein para a ciência moderna, uma narrativa valorizando as fontes, a trajetória e as influências que marcaram o trabalho do cientista alemão teriam possivelmente maior valor e impacto para os estudantes de Física em nível médio, que poderiam constatar que Einstein não formulou a Teoria da Relatividade sozinho – e do nada –, bem como cometeu erros das mais diversas naturezas enquanto cientista, muitos deles conhecidos e relatados por historiadores e cientistas ao longo dos últimos cem anos (ver, por exemplo, OHANIAN, 2008).

Exemplo 2:

Para Descartes o que é essencial na matéria é extensão e movimento, e, conseqüentemente, o universo, que é uma entidade extensa e infinita e, por força deste postulado, é uma entidade plena, não vazia. Descartes postula então:

- Deus quando criou o universo de extensão infinita lhe conferiu também um movimento. A quantidade de movimento total criada é imutável, não podendo aumentar nem diminuir; porém, localmente o movimento de um corpo pode ser alterado pela troca com outro e enquanto um deles perde movimento o outro ganha a mesma quantidade;
- Cada corpo permanece em seu estado de movimento retilíneo - que é a forma geométrica mais simples, criada por Deus ao dar partida ao movimento geral - permanecendo neste estado até que o corpo seja afetado por alguma força externa.

Dessa forma, para Descartes o mundo passa a ser meramente geometria realizada e o movimento, simplesmente, como uma **translação geométrica**. O tempo para ele seria uma **dimensão geométrica** de mesma natureza que o espaço.

Vemos com certa facilidade que a formulação final do Princípio de Inércia retira seu conteúdo de Gassendi e Descartes, embora contraditoriamente Descartes, na sua concepção cosmológica crie uma impossibilidade, uma vez que o movimento retilíneo e uniforme só existe no vácuo. É importante lembrar que para Descartes o vácuo não existe! [...]

Finalmente, seria oportuna uma observação sobre o fato de Descartes atribuir à criação divina, a existência de um mundo preenchido de corpos em perpétuos movimentos e cuja quantidade de movimento total é constante em conformidade com a imutabilidade divina. Ora, não é de se estranhar, pois que, qualquer que seja sua origem, um postulado é um postulado. Aqueles que ensinam ou realizam palestras sobre a cosmologia moderna, são frequentemente alvos das clássicas perguntas relativas ao Big Bang: 'E antes da explosão, o que havia? De onde saiu a energia liberada para a explosão?'. Alguns, em um rompante de sinceridade, respondem com um 'não sei', outros se arriscam e dizem: Deus! (BAPTISTA; FERRACIOLI, 2000, p. 275-276, grifos no original).

Comentários: Este excerto é muito representativo para mostrar a necessidade que alguns pesquisadores têm no sentido de diminuir ou desconsiderar sumariamente a importância dos aspectos (hoje em dia considerados) extracientíficos presentes na obra de uma renomada personalidade da ciência. Nota-se, no início, um cuidado em apresentar os argumentos que historicamente deram sustentação à teoria de Descartes voltada para a explicação dos movimentos, na qual a crença na existência e na ação de Deus na Natureza é tomada como inquestionável e perene. Em contrapartida, os parágrafos seguintes incumbem-se de extrair dos referidos postulados apenas os elementos que acompanham uma lógica atualmente considerada científica e racional, varrendo para debaixo do tapete as motivações e nuances com aspectos metafísicos do pensamento de Descartes. Não se percebe, por exemplo, uma preocupação dos autores em relacionar a negativa de Descartes envolvendo a aceitação do vácuo com a existência do mesmo Deus mencionado nos postulados apresentados anteriormente. A única alusão, ainda que indireta, feita à “criação divina” na construção do princípio da inércia a partir do olhar cartesiano limita-se ao último parágrafo destacado, em que a origem dos postulados propostos em ciência é comentada em tom irônico, dando a entender que podem ser “até” metafísicas. Afinal, o papel de Deus nas explicações cartesianas não é o mesmo daquele hoje em dia aventado para teorias que sustentam a Cosmologia Moderna.

Exemplo 3:

Costuma-se dizer que Galileo inventou o telescópio (ou a luneta), mas não é verdade. Acredita-se que seu inventor tenha sido o

fabricante de óculos holandês Hans Lippershey, em 1608. No ano seguinte, em Veneza na Itália, chega ao conhecimento de Galileo que um instrumento fazia aparecer muito próximos os objetos mais afastados. Galileo decide imediatamente construir um equipamento semelhante (KOYRE, 2006). Ele fixa uma lente plano-côncava e outra planoconvexa às extremidades de um tubo de chumbo e observa que, utilizando-se a lente plano-côncava como ocular, os objetos são sensivelmente aumentados e aproximados.

Depois de apresentar o instrumento às autoridades de Veneza, Galileo dirige o telescópio para o céu e, a partir do outono de 1609, sucedem-se as mais extraordinárias descobertas do mundo científico. As primeiras descobertas astronômicas de Galileo foram publicadas em 1610, na obra *Sidereus Nuncius* (A Mensagem das Estrelas, (GALILEI, 1987)) e estão relatadas resumidamente a seguir. Apresentamos essas descobertas não necessariamente por ordem cronológica, mas por ordem de exposição pelas consequências que elas iriam desencadear (PERENEIRO, 2009, p. 177).

Comentários: Deixando de lado os erros na cronologia das descobertas de Galileo elencadas pelos autores deste artigo – visto que Galileo precisou promover diversos aprimoramentos em suas lunetas fabricadas ao longo do ano de 1609 até fabricar o modelo que lhe permitiu fazer as observações descritas em seu *Sidereus Nuncius* –, a apresentação mencionada das descobertas realizadas por Galileo contemplam o relevo da Lua, as manchas solares, as fases de Vênus, os satélites de Júpiter, as observações de Marte, Vênus e Mercúrio e as observações de Saturno, todos os exemplos de conclusões “acertadas” de Galileo em contraposição aos diversos “equívocos” do sistema de mundo proposto pela teoria aristotélica, tudo isso supostamente com base nas observações do astrônomo italiano ao utilizar a luneta. Essa é a “história oficial”, reproduzida ao longo dos séculos para (super)valorizar a figura de uma personalidade que, de fato, ofereceu diversas contribuições para o desenvolvimento da ciência. Todavia, teria imenso valor didático somar a esse relato informações oferecendo ao público leigo uma “novidade”: os gênios também se equivocam, pois são humanos. Por exemplo, em sua obra *Tratado da Esfera*, escrita cerca de 20 anos antes das mencionadas observações, quando Galileo já lecionava Matemática em universidades italianas, ele faz a defesa de um sistema de mundo geocêntrico, com a Terra parada no centro do Cosmos, em acordo com as ideias ptolomaico-aristotélicas. Mesmo tendo se convertido às ideias de Copérnico nesse interstício, nem todas as descobertas realizadas por Galileo foram por ele interpretadas com base nessa “nova” visão de mundo. Sua insistência em atribuir a existência dos cometas a fenômenos atmosféricos, e não celestes, está de acordo com as explicações aristotélicas, algo que hoje sabidamente trata-se de um grande equívoco. Dentre os diversos materiais atualmente disponíveis abordando esse episódio, Silva (2006) oferece informações sucintas e precisas, ilustrando uma

maneira de apresentar os feitos de Galileu sem a necessidade de omitir informações que em nada diminuem a importância de suas contribuições para a Ciência, com a vantagem de humanizar a figura da pessoa por trás do mito.

6. *Grécia Antiga como origem do conhecimento de natureza científica.*

Exemplo 1:

A questão da transmissão da força tem sido trazida à baila de tempos em tempos. Não faremos um estudo exaustivo de como esta questão evoluiu desde tempos remotos. Aqui, dirigiremos nossa atenção especialmente para a evolução do conceito de campo como um meio de transmissão da força, sem deixar de falar na ideia de ação a distância. Para os nossos propósitos, é suficiente discutirmos a gênese do conceito de campo a partir das ideias de estudiosos antigos que procuraram explicar os efeitos produzidos pela magnetita ou pelo âmbar atritado. Tentativas relevantes para explicar a ação da magnetita foram realizadas, por exemplo, por Tito Lucrécio Caro, um poeta latino (romano), que viveu entre 95 e 52 a.C., e pelo cientista inglês William Gilbert (1544-1603) que, após estudar medicina em Cambridge, estabeleceu-se em Londres, por volta de 1570 (ROCHA, 2009, p.1604-2).

Comentários: Ainda que o autor declare de antemão seu não comprometimento com “um estudo exaustivo” da temática abordada (“o conceito de campo como meio de transmissão de força”), ele toma como ponto de partida as “ideias de estudiosos antigos que procuraram explicar os efeitos produzidos pela **magnetita** ou pelo âmbar atritado” (Grifo meu). Como é sabido, o nome desse minério de ferro deriva da região em que sua presença foi relatada pela primeira vez, obviamente segundo o olhar ocidental. Apesar de hoje em dia a Magnésia pertencer à porção oriental da Turquia, essa região foi, durante séculos, parte do território greco-romano. Deste modo, na prática, é muito comum que relatos envolvendo os primórdios das observações dos fenômenos magnéticos reportem-se à Magnésia. Mas isso se deve em grande parte à tradição ocidental de considerar a Grécia Antiga a origem mais autêntica dos conhecimentos de natureza científica. No caso do Brasil, seria o colonizado reproduzindo o discurso do colonizador. No exemplo, dá-se um salto de 16 séculos e procura-se, ao longo do artigo, provar a relação de identidade entre as ideias sobre o magnetismo do poeta romano Tito Lucrécio Caro (95 a 32 a.C.) e o médico e filósofo da natureza britânico William Gilbert (1544 – 1603). Contudo, haveria outras possibilidades menos óbvias, conduzidas a partir de um olhar menos estreito e simplista. Isto porque há registros de aplicações relacionadas ao magnetismo entre civilizações da América pré-colombiana que remontam ao período entre 1200 e 500 anos a.C. e, também, na China, no séc. III a.C. Nesse sentido, Pessoa Jr. (2010) escreveu um trabalho em língua portuguesa extremamente interessante, por

apresentar o histórico do Magnetismo na Antiguidade a partir de uma metodologia em HC que permite cotejar três caminhos relacionados ao desenvolvimento dessa ciência percorridos de forma paralela e independente (na Europa, na China e na América). Para surpresa dos estudiosos da HC que trabalham exclusivamente sob um viés eurocêntrico, o conhecimento das propriedades de orientação das pedras-ímã, cujo mais notório artefato tecnológico responde pelo nome de *bússola*, ocorreu primeiro na China e na América pré-colombiana, e muitos séculos antes dos registros associados ao continente europeu, reproduzidos não somente entre artigos acadêmicos como, em especial, livros e demais materiais com vocação didática.

Exemplo 2:

Por quase 2000 anos, prevaleceram na Física as ideias aristotélicas como um todo e, conseqüentemente, a ideia de éter defendida por Aristóteles. No século XVII, entretanto, a ideia do éter sofreu modificações com os trabalhos de Descartes, Huygens, Newton e outros. Descartes, por exemplo, dentro de sua visão do universo, aceitava a existência de um meio ou substância entre os corpos materiais, e esse meio seria um fluido que ocuparia todo o espaço, inclusive os poros destes corpos. Para ele, “uma matéria muito sutil”, o éter (termo que ele não usou talvez para não ser confundido com o éter aristotélico) seria o intermediário das ações dos sistemas físicos, especialmente os ópticos; e a luz, essencialmente, um movimento ou ação que se transmitia através desse meio (ROCHA, 2009, p.1604-9).

Comentários: Saltos temporais de dois milênios envolvendo o desenvolvimento de um conceito ou teoria em ciência devem ser sempre analisados com cautela e desconfiança. Na situação descrita, é importante lembrar que o éter aristotélico (relacionado à matéria constituinte da região supralunar – a “quintessência”) cumpria uma função muito diferente do éter de Descartes, Huygens e Newton (prioritariamente evocado para dar suporte material à propagação da luz). Como é de praxe, são deixados de lado os estudos ligados a culturas não diretamente ligadas ao continente europeu. Por exemplo, a ciência que floresceu ao longo dos séculos de domínio árabe, em grande parte da Europa, da África e do Oriente Médio, ofereceu à humanidade explicações e avanços tecnológicos extremamente sofisticados, que inegavelmente influenciaram os trabalhos das diversas personalidades que hoje reconhecemos como realizadoras de variadas conquistas científicas. No campo da Ótica, estudos sobre a natureza da luz, sua propagação, fenômenos básicos (como a reflexão e a refração) e as cores apresentadas pelos objetos já haviam sido realizados – e com riqueza de detalhes – mais de 6 séculos antes da época de Descartes e Newton, na obra “Tesouro da Óptica”, do iraquiano Abu Ali al-Hasan Ibn Al-Haytham (965 – 1040), mais conhecido pela versão latinizada *Alhazen*. Nela, estão meticulosamente registrados os resultados de experimentos realizados por meio do uso de câmaras escuras, esferas

de vidro, espelhos planos, esféricos, cilíndricos e cônicos que antecipam, por exemplo, parte dos resultados obtidos no séc. XVII por Kepler e Descartes acerca da refração luminosa (a luz seria composta por raios propagando-se com velocidades diferentes ao atravessarem materiais distintos). Omitir esse histórico, como faz o artigo em referência, ainda que sem intenção, serve apenas para reforçar aquilo que os livros didáticos reproduzem há décadas: uma leitura “ocidentalizada” dos momentos em que a ciência se desenvolveu, não dando margem à promoção de discussões e reflexões junto aos alunos a respeito das razões subjacentes a esta prática.

Exemplo 3:

Segundo Radix (1978), parece que as propriedades dos piões eram conhecidas na China e no Egito desde a Antiguidade. No entanto foi preciso aguardar o ano de 1852 para que Foucault realizasse experiências colocando em evidência a influência da rotação terrestre sobre o comportamento de giroscópios (KRAPAS-TEIXEIRA; QUEIROZ, p. 175).

Comentários: Esse extrato tem um início promissor, em que é mencionada uma origem não europeia para as observações envolvendo o estudo de um importante ramo da Física (Dinâmica Angular). Todavia, como a citação de China e Egito não é explorada, ela parece somente ter sido feita para reforçar a suposta incipiência desenvolvida fora dos grandes e reconhecidos centros em que historicamente a ciência tem se desenvolvido. Trata-se de mais uma afirmação que poderia ter sido ponderada antes de transmitir a impressão de que a ciência moderna europeia atingiu um nível de maturidade e desenvolvimento jamais experimentado em outro local ou cultura ao longo dos tempos. Afinal, China e Egito são civilizações que notadamente atingiram seu apogeu científico-cultural vários séculos antes da Europa, tendo reunido condições para localmente oferecerem contribuições significativas para o desenvolvimento da ciência – inclusive dos giroscópios. As autoras teriam evitado essa imprecisão, por exemplo, caso tivessem notado que o autor referenciado, Jean Claude Radix, foi um pesquisador especialista em Mecânica, Física e Aeronáutica, sem jamais ter publicado uma única obra específica sobre a HC¹⁰. Portanto, seria de se esperar que a leitura de Radix sobre o tipo de HC que valeria a pena ser

¹⁰ Além da obra citada, são da autoria de Radix: *Le gyroscope et ses applications* (1969), *Pratique moderne des probabilités* (1991), *Filtrage et lissage statistiques optimaux lineaires* (1984), *La navigation par inertie* (1966), *Introduction au filtrage numerique* (1970), *Introduction à la relativité générale* (1994), *Techniques inertielles: mesures gyro-accelerometriques, localisation, stabilisation recherche du nord géographique* (1972), *Systèmes inertiels à composants liés “Strap-down”* (1980), *Répertoire géodésique em vue de la navigation* (1991), dentre outras de mesma natureza. Disponível em: <<http://classify.oclc.org/classify2/ClassifyDemo?wi=299653788>>. Acesso: 14/11/2015.

introduzido em uma obra essencialmente técnica, voltada para engenheiros e cientistas, dificilmente visaria a uma reflexão sobre a construção histórica dos conhecimentos envolvendo os giroscópios e suas aplicações. O resultado observado é um autor francês (Radix) atribuindo os créditos da aplicação mais nobre e notória desses dispositivos a um cientista também francês (Jean B. Foucault).

7. Supervalorização das ideias, experimentos e teorias da ciência considerando apenas aspectos internos da ciência.

Exemplo 1:

As ciências naturais, a Física principalmente, têm suas estruturas construídas sobre bases sólidas recobertas por uma malha teórica que liga todos os elementos ao complexo total. É uma ciência empírica que, naturalmente, se apoia nos dados da observação e constrói sua estrutura teórica por meio do método indutivo (BAPTISTA, 2006, p. 541).

Comentários: Ainda que relativamente recente e publicada em um periódico de grande impacto para a área de Ensino de Física, a afirmação contida neste excerto é combatida por historiadores e, em especial, filósofos da ciência há várias décadas. O tal “método indutivo” mencionado encaixa-se com muita precisão naquilo que se convencionou denominar “indutivismo ingênuo”, que é acompanhado por uma visão determinística e triunfalista de ciência. Os fatos advindos da observação (“empíricos”) não falam por si, ou seja, são intermediados por seres humanos. Portanto, um mesmo objeto visto por pessoas diferentes – ainda que treinadas sob a mesma metodologia de trabalho – não necessariamente geram resultados e conclusões iguais (por vezes, sequer parecidas). A teoria, o histórico de vida, o contexto sócio-histórico-cultural e a imaginação, por exemplo, são elementos que em muitas oportunidades atuam de maneira decisiva na prática científica. Afinal, uma discussão que é lugar-comum no EC diz respeito à inexistência de um método científico único e universal, capaz de produzir uma ação livre de valores e com a garantia de, respeitadas as mesmas condições de contorno, gerar sempre os mesmos resultados. Um caso clássico na história da Física que evidencia essa diversidade de possibilidades geradas por olhares diferentes lançados sobre um mesmo fenômeno observável relaciona-se à descoberta da chamada “radioatividade natural”. Geralmente atribuída ao francês Henri Becquerel (1852 – 1908), que em 1896 teria revelado filmes fotográficos esquecidos em uma gaveta conjuntamente com compostos de urânio. Um relato comum, que ainda hoje é reproduzido, apoia-se na suposta interpretação dada por Becquerel aos traços encontrados nos filmes: teriam sido provocados por novos tipos de radiações emitidos pelo urânio. Por mais convidativo e convincente que seja esse relato, oferecendo

anuência a uma lógica de pesquisa hegemônica que seria realizada em ciências, não se pode dizer que Becquerel descobriu a radioatividade natural. A teoria que o guiava era a mesma que conduzia as pesquisas realizadas por vários dos seus contemporâneos: o estudo dos raios X, descobertos por Wilhelm C. Röntgen (1845 – 1923), no ano anterior. Após uma série de tentativas frustradas de atribuir ao urânio a capacidade de emitir espontaneamente os raios X – até então somente produzidos artificialmente no interior de tubos de raios catódicos –, Becquerel só conseguiu perceber que o fenômeno que observara nada tinha a ver com raios X quando, em 1898, um casal de pesquisadores atuantes na França (Pierre e Marie Curie) ofereceu uma explicação alternativa para o fenômeno em referência, ao variar os elementos e as técnicas utilizadas. Esses três pesquisadores acabaram por dividir o Prêmio Nobel de Física de 1903. Martins (1990) detalha com rigor esse episódio, evidenciando a influência da teoria na prática científica, em contraposição ao que é sugerido no excerto destacado.

Exemplo 2:

Em 1679, Robert Hooke escreveu a Newton, convidando-o a comentar sobre um método de sua autoria para descrever movimentos curvilíneos. A ideia de Hooke consiste em separar o movimento de um corpo que é atraído para um centro em duas componentes: Uma componente inercial, o movimento que o corpo teria, se continuasse a se mover com a velocidade instantânea, sem atuação da atração; um “soco” em direção ao centro de atração, o que nós chamaríamos “impulso instantâneo”, radial, na direção de um centro de forças. Em carta anterior, Hooke havia proposto um problema a Newton que pode ser parafraseado como se segue: Se um corpo sofre uma atração em direção a um centro, que tipo de curva seria sua órbita, se o “poder de atração” variasse inversamente com o quadrado da distância?

Newton respondeu a Hooke que seu método lhe era desconhecido; e, em vez de discutir o problema proposto por Hooke, apresentou um outro problema (apêndice). Quando, em 1684, Edmund Halley, o astrônomo, visitou Newton e lhe fez a mesma pergunta, Newton teria respondido, imediatamente, que, segundo seus cálculos, era uma elipse, porém não achou os cálculos. Halley insistiu, então, que ele os escrevesse; o resultado, após alguns pequenos tratados (rascunhos do trabalho maior), foi o *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (DIAS, 2006, p. 213 – 214).

Comentários: Este é um caso característico de descoberta em ciência feita, em parte, pela influência de uma suspeita ou fundamentação que precede observações e experimentos. No relato contido neste extrato do artigo, fica latente a influência de Robert Hooke (1635 – 1703) no desenvolvimento de uma parcela significativa daquilo que habitualmente atribuímos única e exclusivamente a Isaac Newton (1642 – 1727): a proposição da Lei da Gravitação Universal. Percebe-se que não foram somente as

evidências empíricas que conduziram Newton às conclusões necessárias para formular essa lei. Por isso, chega a ser enigmática a razão de se omitir essa influência (de Hooke) ao longo do artigo, o qual prefere outorgar as reflexões envolvendo a obtenção da relação de identidade entre a lei do inverso do quadrado da distância e o formato da trajetória descrita por corpos em órbita apresentada nos *Principia* unicamente ao conjunto de escritos de Newton.

Exemplo 3:

Ao recorrer às citações feitas pelos três interlocutores na obra de Galileu (Salviati, Simplicio e Sagredo), tivemos o propósito de colocar o leitor frente a frente com seu modo de atuar, pensar e proceder no plano científico. Assim, procuramos evitar distorções de seu pensamento, interpretando-o segundo as próprias tendências filosóficas ou ideológicas da época.

Vale salientar que também abordamos, embora de forma extremamente resumida, o método da pesquisa científica de Galileu, que sempre foi uma justa combinação da observação e da experiência com a matemática, instrumento de lógica dedutiva. Vimos que, partindo de alguns fatos experimentais, formula-se uma primeira hipótese ou teoria para interpretá-los. Dessa teoria tiram-se conclusões, por via dedutiva. Em seguida, a validade dessas conclusões é submetida à experiência, à qual cabe sempre a última palavra. A hipótese é substituída ou aperfeiçoada se os ensaios não a confirmam (PENNERO, 2010, p. 309 – 310).

Comentários: Atribuída a Galileu, a maneira de conduzir práticas e investigações científicas descrita nesse excerto procede. Principalmente considerando-se as ponderações contidas no início do fragmento, que situam essa forma de pensar a ciência no recorte temporal em que viveu Galileu, caracterizando o início do período conhecido como “Revolução Científica”. Cabe a um contemporâneo de Galileu, o britânico Francis Bacon (1561 – 1626), dar os primeiros contornos daquilo que ficaria conhecido como “método científico” naquele particular contexto de época, cujo passo a passo é descrito no final do excerto. Este extrato foi escolhido de forma deliberada, pois se presta bem para fechar os exemplos sobre a AHC e fazer uma ponte com a sequência de exemplos que se inicia a seguir, envolvendo a MHC. Isto porque uma leitura mais breve e menos atenta – e impregnada pela ânsia de se enxergar distorções e equívocos em afirmações envolvendo caracterizações sobre a metodologia científica – poderia deixar a impressão de que o artigo estaria incorrendo em um erro primário, defendendo uma visão ultrapassada e equivocada sobre o fazer ciência e suas implicações. Contudo, como já comentado, não é este o caso. De forma equivalente, Chalmers (1993) parte desse mesmo exemplo (Galileu e a Revolução Científica) para demarcar o conceito de “método científico” surgido naquele contexto histórico, bem como sua validade.

Moderna Historiografia da Ciência – critérios e exemplos

1. *Análise pontual e minuciosa de estudos de caso, priorizando neles a investigação aprofundada de algumas personalidades, períodos ou acontecimentos específicos.*

Exemplo 1:

O mistério do Paradoxo Hidrostático de Galileu provém do fato de que comumente não nos apercebemos que a Lei de Arquimedes, da forma como costuma ser apresentada “experimentalmente” nos livros-texto, nos induz fatalmente a um erro de avaliação. A referida lei afirma que: “todo corpo mergulhado em um líquido sofre um empuxo de baixo para cima igual ao peso do fluido por ele deslocado”. A principal peça de convencimento educacional comumente oferecida pelos livros didáticos de Física para que o aprendiz aceite a validade de tal afirmativa de Arquimedes é um “experimento” no qual um corpo é inicialmente colocado a flutuar em um vaso já repleto de água. No referido “experimento” – usualmente ilustrado nos livros – toda a água que extravasa do recipiente é recolhida e convenientemente pesada. O resultado mostra que o peso desta água deslocada é igual ao peso do corpo colocado a flutuar. O tal experimento parece convincente, a julgar pelo uso secular que os autores de livros didáticos de Física têm feito do mesmo, desde que Gravesande (1688-1742) e Musschenbroek (1692-1761) o utilizaram de forma pioneira em seus livros ainda no início do século XVIII. Desde então, tal experimento tem sido assumido como uma peça de evidência válida, convincente e inofismável da referida Lei de Arquimedes, sem que se leve em conta que a justeza desse argumento já houvesse sido criticada no século XVII por Galileu, dando origem ao seu célebre Paradoxo Hidrostático. [...] Galileu (1564-1642) idealizou e realizou um experimento paradoxal para o enunciado tradicional da Lei de Arquimedes [...]. Imaginemos que, em um recipiente, exista um volume de fluido com peso menor do que o peso do corpo flutuante. A Foto 1 da Fig. 1 mostra uma lata de cerveja (cheia de cerveja) com volume aproximado de 350 ml e um recipiente contendo 230 ml de água (colorida com tinta amarela). Quando a lata flutua em água, conforme se observa na Foto 2 da mesma figura, encontra-se quase que completamente imersa; assim sendo, segundo o enunciado usual da Lei de Arquimedes, deveria deslocar quase 350 ml de água. Apesar de não existir no recipiente esse volume, a Foto 2 mostra a lata flutuando. Assim, fica estabelecido um paradoxo em relação ao enunciado usual da Lei de Arquimedes, pois um corpo pode flutuar mesmo quando o volume de fluido é menor do que aquele que o corpo precisaria deslocar. Ou ainda, o Paradoxo Hidrostático de Galileu consiste na afirmação de que um corpo pode flutuar em um fluido mesmo quando o peso de fluido disponível é menor do que o peso do corpo.

A desobediência ao enunciado tradicional da Lei de Arquimedes [...] é uma consequência de que esta proposição é válida somente quando o nível do líquido no recipiente antes e depois da introdução do corpo flutuante permanecer o mesmo. Essa condição é satisfeita se o recipiente estiver inicialmente com a sua capacidade máxima preenchida e, então, transbordar quando da imersão do corpo, ou ainda, quando o volume do corpo for desprezível em relação ao volume de fluido no recipiente. Quando a imersão do corpo no fluido afetar o nível do fluido, mostraremos que o enunciado tradicional da Lei de Arquimedes deixa de ser válido. O empuxo, nesse caso, é maior do que o peso do volume de fluido efetivamente deslocado (SILVEIRA; MEDEIROS, 2009, p. 276 – 278).

Comentários: Por pragmatismo, as figuras mencionadas neste excerto foram omitidas, sem prejuízo à ideia central trabalhada: há uma aparente contradição na Lei (ou Princípio) de Arquimedes, relacionada ao efetivo volume de fluido que pode ser deslocado por um corpo sólido nele mergulhado. Em contraposição à mera e acrítica reafirmação da tradicional proposição da referida lei, os autores buscaram argumentos históricos para reforçarem aquilo que a experiência evidencia, utilizando um questionamento realizado por Galileu cerca de 2000 anos após Arquimedes ter supostamente realizado seus experimentos. Trazer à tona o interesse de Galileu por problemas de Hidrostática – como é o caso de seu pequeno tratado *La bialancetta* (“A balança”), publicado postumamente, questionando o método atribuído a Arquimedes para a verificação de densidades, relacionado à história da “coroa do rei Heron” – foi uma escolha muito interessante e eficaz dos autores para servir de pano de fundo às discussões envolvendo o paradoxo descrito. Como se pode notar, para isso não foi necessário promover uma cronologia muito extensa, nem citar uma série de nomes e acontecimentos que serviriam apenas como adereços àquilo que verdadeiramente se tencionava discutir.

Exemplo 2:

Costuma-se citar o experimento de Michelson e Morley como o fundamento experimental do postulado da relatividade. Sabe-se que Michelson, em 1881, e depois Michelson e Morley, em 1887, tentaram medir a velocidade da Terra através do éter, utilizando um interferômetro óptico, e não obtiveram o resultado previsto (SHANKLAND, 1964). Poucos anos depois, Henri Poincaré propôs o princípio da relatividade, que foi, mais tarde, adotado também por Albert Einstein (GIANNETTO, 1998; SCRIBNER, 1964).

Essa versão da história da relatividade, bem como outras semelhantes, tem diversos defeitos. Em primeiro lugar, é muito simplista. A partir dela, parece que a ciência se desenvolve a partir de experimentos “cruciais”, sobre os quais é edificada uma teoria. A versão popular também sugere que os físicos do século XIX eram tolos, que acreditavam em uma teoria errada sem nunca terem se preocupado em fazer experimentos sobre ela, e que bastou o surgimento de um único teste para mostrar que ela era falsa.

A história é sempre muito mais complicada e rica do que sonham os livros didáticos e de divulgação científica. [...]

Tanto antes quanto depois dos experimentos de Michelson e Morley, houve muitas outras tentativas de medir a velocidade da Terra através do éter; e tanto antes quanto depois, houve pesquisadores que afirmaram haver encontrado resultados positivos, e outros que disseram não ter encontrado efeitos do movimento da Terra (MARTINS, 1986a; SWENSON, 1972).

Não se pode entender de forma adequada o significado do surgimento da teoria da relatividade sem uma compreensão do verdadeiro contexto histórico que precedeu esta teoria. E esses precedentes incluem um período no qual havia teorias sobre o éter muito bem estruturadas sob o ponto de vista teórico, e bem fundamentadas sob o ponto de vista experimental.

Havia, no final do século XIX, dois campos da Física que estavam estruturados sobre o conceito de éter: o eletromagnetismo e a óptica, que haviam sido unificados pela teoria de James Clerk Maxwell. Tanto a história do eletromagnetismo quanto a da óptica durante o século XIX são essenciais para a compreensão do surgimento da teoria da relatividade. No entanto, é inviável procurar abordar ambos em um único artigo. Considerando a existência de bons estudos recentes sobre os precedentes eletromagnéticos da relatividade, o presente trabalho procurará apenas dar uma contribuição ao esclarecimento de alguns aspectos da óptica dos corpos em movimento, antes dos experimentos de Michelson e Morley (MARTINS, 2012, p. 53 – 54).

Comentários: Este extrato do artigo oferece uma leitura muito didática da forma como a MHC encara a apresentação e o trabalho com episódios históricos, oferecendo possibilidades de interlocuções profícuas com o EC. Sabendo que o experimento de Michelson e Morley possui espaço cativo na remontagem dos antecedentes que determinaram a elaboração da Teoria da Relatividade Restrita, o ato de oferecer informações envolvendo os antecedentes e as motivações dos autores desse experimento permite aos professores de Física propor e articular junto aos alunos discussões muito ricas, e em alinhamento com os já destacados ideais de uma educação científica moderna e contextualizada. Martins (2012) opta por concentrar sua atenção “somente” nos estudos envolvendo o éter segundo o olhar da Óptica, que, por si, já oferecem muito pano para a manga da roupagem que reveste a Física do século XIX. As discussões abarcando a importância do éter na constituição das teorias relacionadas ao Eletromagnetismo foram acertadamente deixadas de lado no artigo aqui citado, pois com certeza trariam informações que não poderiam ser analisadas com suficiente aprofundamento para se concatenar com as ideias desenvolvidas pelo viés da Óptica. Saber fazer esse recorte é algo determinante para a efetividade das apropriações da HC em contextos didáticos.

Exemplo 3:

Em estudo anterior criticou-se a pouca ênfase atribuída por livros de texto do ensino médio brasileiro a aspectos históricos da relação entre força e movimento. A Física aristotélica, por exemplo, é apresentada em geral de forma insipiente e amplamente descontextualizada nos materiais instrucionais. Com isso, mostra-se pouco atrativa e mesmo desprovida de sentido para o leitor que, não compreendendo os seus fundamentos básicos, vê com desconfiança e incredulidade algumas ideias aparentemente superficiais e ingênuas, aos olhos de hoje, aparecerem como elementos essenciais de uma teoria científica. [...]

A descaracterização do paradigma aristotélico nos textos didáticos acaba inibindo qualquer relacionamento entre este referencial e o senso comum do aluno, deixando à margem do processo educativo um importante resultado da pesquisa educacional: o fato de que para

estudantes de qualquer nível de escolaridade não pode haver movimento sem força e que força e velocidade são proporcionais. [...] Nas próximas seções discute-se as ideias de Aristóteles sobre o movimento dos corpos como parte integrante e indissociável de sua filosofia natural. Além do seu valor didático junto a certas ideias intuitivas do estudante sobre o relacionamento entre força e movimento, a Física aristotélica apresenta-se como um referencial indispensável para a compreensão da Física medieval e da revolução na mecânica ocorrida no século XVII (PEDUZZI, 1996, p. 48 – 49).

Comentários: Mesmo ocupando um espaço relevante nos capítulos introdutórios de livros didáticos de Física do ensino médio – nos quais, em geral, se explica o que é esta ciência e qual seu objeto de estudo –, o histórico de uma origem dos conhecimentos físicos na Grécia Antiga é predominantemente realizado de forma superficial e simplista, dificultando que os estudantes compreendam a importância e o significado dessa “contextualização” logo no início dos estudos sobre a Física. Não é incomum que essa apresentação seja feita por meio da exposição de uma cronologia desconexa, estéril e enfadonha das ideias e proposições realizadas pelos “sábios gregos”, dentre os quais Aristóteles, em geral, possui um lugar de destaque. O que esse artigo propõe é um tratamento mais preciso para o histórico da Física aristotélica nos livros didáticos, evidenciando a proximidade existente entre certas concepções dos alunos advindas do senso comum e aspectos do pensamento aristotélico. Para tanto, o autor defende que as explicações de Aristóteles a respeito dos movimentos sejam apresentadas “como parte integrante e indissociável de sua cosmologia”. Dessa forma, como alternativa às tradicionais *caixas de texto* presentes nas margens dos livros didáticos, contendo somente uma imagem de Aristóteles e uma biografia lacônica – inúteis para o estudante compreender sua presença naquela seção – o artigo propõe a promoção de um relato pautado pelo diálogo entre as concepções alternativas dos alunos a respeito das causas dos movimentos e as respectivas explicações teleológicas de Aristóteles.

2. Apresentação das ideias atreladas ao contexto sócio-histórico-cultural em que foram propostas.

Exemplo 1:

O Tratado [da luz, de Huygens] é dividido em duas partes: a primeira, em que são explicadas as causas do que ocorre na reflexão, na refração e particularmente na estranha refração do cristal da Islândia (calcita); a segunda, um discurso sobre a causa do peso. A presença dessa última parte, aparentemente desconexa da primeira, não deve causar estranheza, pois é altamente reveladora dos princípios contidos em ambas: um modelo mecânico para explicar os efeitos que descrevem. A contribuição de Huygens deve ser compreendida no contexto de sua época. O desenvolvimento da teoria Física da luz durante o Século XVII está associado à construção de modelos

mecânicos. Esses modelos procuram explicar por meio de conceitos puramente mecânicos as propriedades conhecidas da luz, como a propagação retilínea, a reflexão, a refração ou a origem das cores (SILVA, 2007, p. 150).

Comentários: Ao apresentar o momento histórico vivido pelas ciências quando o “Tratado da Luz”, de Huygens, foi elaborado, o autor viabiliza a compreensão de sua forma de atuar e a articulação entre os diversos “produtos” elaborados como resultado da determinação e do trabalho dessa personagem. Vistas isoladamente, é provável que suas contribuições à ciência tenderiam a ser interpretadas como se não tivessem ligações intrínsecas entre si. Assim como Huygens, muitos foram os filósofos naturais europeus que tiveram seus trabalhos diretamente influenciados pelo Mecanicismo. O século XVII foi testemunha do surgimento e da ascensão dessa linha de pensamento, que tem sua representação mais emblemática na fala de Kepler:

a máquina do universo não é semelhante a um ser divino animado, mas semelhante a um relógio [...] e nela todos os movimentos dependem de uma simples força ativa material, assim como todos os movimentos do relógio são devidos ao simples pêndulo (KEPLER, 1858-71 *apud* ROSSI, 1992, p. 134).

Ainda segundo Rossi (1992), os métodos da Mecânica passam a ser tomados como referência para a descrição todos os eventos naturais, constituindo-se no modelo privilegiado para a compreensão do funcionamento da Natureza. Dessa forma, é bastante didática e profícua uma apresentação das explicações de Huygens a respeito dos fenômenos relacionados à natureza e à propagação da luz em sintonia com seus trabalhos abarcando pêndulos.

Exemplo 2:

“Na outra ponta do fio, amarrou uma chave de metal e atou-a a um fio de seda, que permaneceu abrigado da chuva, para que as cargas elétricas das nuvens não descessem à Terra. À medida que o fio de algodão ficava úmido, tornava-se condutor, permitindo que as cargas elétricas da atmosfera chegassem à chave.”

No trecho descrito acima, vemos nitidamente algo que é comum em muitos livros que abordam História da Ciência de forma distorcida e simplificada: o uso de interpretações anacrônicas, que levam a crer que os cientistas do passado utilizavam os mesmos termos com os mesmos significados atuais. Como visto acima, Franklin utilizava o conceito de fluido elétrico para interpretar os fenômenos elétricos. Embora Franklin utilizasse o termo carregado para designar corpos com excesso de fluido elétrico, devemos tomar cuidados e não interpretar isso como se ele utilizasse o conceito de carga elétrica como conhecemos hoje. A carga elétrica, como uma propriedade fundamental da matéria, como a massa e outras propriedades fundamentais, é um conceito desenvolvido apenas no século XX. Nem mesmo podemos pensar que Franklin estava se referindo aos

elétrons, já que estes foram descobertos no final do século XIX (SILVA; PIMENTEL, 2008, p. 154)

Comentários: Franklin viveu no século XVIII, quando eram comuns as explicações de caráter científico para fenômenos naturais se apoiarem na existência e ação de fluidos. No caso particular da eletricidade, esta seria constituída por um “fluido elétrico”, relacionado a uma propriedade da matéria que, segundo Franklin, seria denominada “fogo elétrico”. Portanto, conforme é criticado pelas autoras, para evitar interpretações anacrônicas, uma narrativa histórica não pode tentar “traduzir” termos e colocações do século XVIII em termos de conhecimentos estabelecidos séculos depois, sob a justificativa de fazerem sentido a partir de um olhar atual. Por exemplo, não faz sentido dizer que o “fogo elétrico” seria equivalente ao que hoje denominamos “carga elétrica”, pois são conceitos surgidos em diferentes contextos científicos e filosóficos, não admitindo este nível de correspondência entre si. Fazer essa ponte de forma automática e acrítica é fugir da discussão que permitiria aos alunos compreender os caminhos (porque há sempre mais do que um) percorridos por um ramo da ciência até se estabelecer de forma consensual, ainda que provisória. Essa compreensão deveria passar pelo reconhecimento da influência do contexto cultural que cerca o desenvolvimento da ciência em cada momento histórico analisado.

Exemplo 3:

Torricelli aponta que o fenômeno de queda livre de uma gota do líquido se assemelha ao efluxo de um jato. Portanto a proporcionalidade entre velocidade de efluxo e a raiz quadrada da altura do nível do líquido em relação ao orifício, pode ser estendida para a medição da velocidade de um corpo em queda livre. Aí está a verdadeira origem da “equação de Torricelli”. [...] A equação de Torricelli tem sido apresentada nesses livros como sendo uma “saída” para a resolução de problemas de MRUV onde o instante t não aparece como um dos dados do problema. Ela é deduzida da manipulação das equações horárias da posição e da velocidade. Nenhuma discussão geométrica ou histórica sequer é citada como forma de justificar a sua aparição. Essa afirmação pode nos levar a crer, e também aos alunos, que a equação de Torricelli foi exclusivamente deduzida para solucionar esses tipos de problemas, quando na verdade ela indicou uma semelhança entre dois fenômenos (MACEDO, 2010, p. 4307-2 – 4707-3).

Comentários: A Equação de Torricelli é, de fato, invariavelmente apresentada nos livros didáticos e, nas aulas de Cinemática, surge apenas como resultado de operações algébricas para solucionar, de forma alternativa às equações horárias, situações-problema relacionadas ao Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV) em que a grandeza Física *tempo* é desconhecida (ou desnecessária). Assim sendo, acaba por se tornar somente mais uma “fórmula” a ser decorada, com uma

finalidade pontual e, para o aluno, desinteressante, como tudo aquilo que a ele é apresentado para ser compulsoriamente memorizado. Por isso, é possível que a iniciativa de se apresentar essa equação aos alunos no contexto em que foi formulada favoreça a compreensão de seus propósitos e a compreensão de suas limitações. Para o estudante, entender que a Equação de Torricelli é um subproduto de pesquisas relacionadas ao aprimoramento das técnicas de lançamento de projéteis – óbvia e infelizmente implementadas em um contexto de guerra – seria uma possibilidade de atribuir significado àquele conteúdo físico desenvolvido em sala de aula, fazendo uma estreita correspondência com o respectivo momento sócio-histórico em que o mesmo foi proposto.

3. Valorização das controvérsias, destacando o papel desempenhado por diversas personalidades na construção da ciência.

Exemplo 1:

Copérnico atribui outro movimento à Terra: um giro diário, como que em torno de um eixo próprio. Como resultado deste movimento, percebe-se todo o universo deslocar-se em sentido contrário ao da Terra, sendo, porém, tal movimento apenas aparente. Neste ponto, Copérnico retoma a questão da relatividade dos movimentos, já exposta anteriormente por Oresme e Nicolau de Cusa. Partindo da relatividade ótica dos movimentos, Oresme argumentara, já no século XIV, que, apenas com base em dados físicos ou da razão, não seria possível concluir se a Terra estaria em repouso ou em movimento. Acreditando no repouso da Terra, Oresme sustentava, no entanto, ser isto uma questão de fé. Posteriormente a Oresme, mas ainda cem anos antes de Copérnico, Nicolau de Cusa (1401-1464), provavelmente influenciado pelo pensamento dos teóricos parisienses (como Oresme e Buridan), defendeu a ideia de um universo ilimitado, sem periferia, nem centro. Afastada da posição central, a Terra e os demais planetas estariam em movimento, o qual só poderia ser percebido em relação a alguma coisa (MEDEIROS; MONTEIRO, 2002, p. 35).

Comentários: É muito expressiva a importância que habitualmente é atribuída a Nicolau Copérnico (1473 – 1543) pela elaboração da obra *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, considerada um marco da chamada Revolução Científica. Assim sendo, é importante valorizar também a influência de outras personalidades – em geral desconhecidas do público geral, por terem sido, por exemplo, omitidas dos livros didáticos de Física – no desenvolvimento da teoria heliocêntrica copernicana. Os trabalhos de personalidade que viveram no medievo europeu (Nicolau de Oresme, Nicolau de Cusa, Jean Buridan, George Peurbach e tantos outros “anônimos”) serviram como referências, como exemplos a serem seguidos ou refutados, para Copérnico erigir sua obra magna. Levar esses nomes para a sala de aula de forma

contextualizada é uma atitude que permite ao estudante efetuar uma reflexão a respeito do funcionamento da ciência, que jamais lograria êxito em avançar com base nos esforços pontuais e isolados de alguns poucos e privilegiados “gênios iluminados”.

Exemplo 2:

Neste artigo, discute-se a história da descoberta da fissão, desde as primeiras manipulações artificiais dos átomos até a compreensão do fenômeno, em 1939. Por muito tempo, foi atribuída a Hahn (e, às vezes, a Strassmann) a autoria da descoberta desse fenômeno. Entretanto, nas últimas décadas, o resgate de cartas trocadas entre Hahn e Meitner provocou dúvida sobre os papéis desempenhados por estes dois cientistas nessa realização. A associação das cartas trocadas entre ambos às datas de submissão dos artigos mais importantes sobre a fissão mostra a importância do intercâmbio de conhecimentos químicos e físicos naquele momento, e tem gerado dúvidas quanto a quem se deve atribuir a descoberta do fenômeno. Definitivamente, o trabalho colaborativo de mais de trinta anos entre Hahn e Meitner não acabou com a emigração da Física austríaca para evitar a perseguição nazista. Assim, para além da atribuição espaço-temporal da descoberta, a história da fissão é uma história de intensa interdisciplinaridade – e dessa característica a educação científica pode se beneficiar. Ademais, a história das pesquisas do grupo de Berlim tem o potencial de ilustrar outros aspectos da natureza da ciência, como a pluralidade metodológica, a subdeterminação de teorias pela evidência e a importância de “experimentos cruciais”. No caso da fissão, esses aspectos evidenciam que descobertas são construções históricas e coletivas, envolvem grandes trocas de conhecimentos e, não raro, ocorrem por caminhos tortuosos, cheios de anomalias e provocam perplexidade na comunidade científica (CORDEIRO; PEDUZZI, 2014, p. 540).

Comentários: Otto Hahn (1879 – 1968) foi laureado com o Prêmio Nobel de Química em 1944 pela descoberta do fenômeno da fissão nuclear. Como está resumido com particular precisão nesse excerto, é bem sabido pela comunidade científica que a marcha de Hahn no caminho dessa descoberta não foi solitária. Além de Fritz Strassmann (1902 – 1980), ao menos outros dois nomes deveriam obrigatoriamente ser lembrados sempre que essa temática vier à tona: Lise Meitner (1878 – 1968) e Otto Frisch (1904 – 1979), responsáveis pela formalização da maior parte do arcabouço teórico que deu norte e sustentação aos resultados experimentais obtidos por Hahn. Apresentar o episódio considerando as múltiplas contribuições que determinaram a descoberta da fissão nuclear, alternativamente à simples menção a Hahn e “seu” Prêmio Nobel, é oferecer uma educação em ciência mais rica e integrada aos demais conhecimentos, permitindo, inclusive, uma reflexão sobre o espaço historicamente reservado (pelos homens) às mulheres no processo de desenvolvimento e consolidação da ciência. Portanto, este excerto evidencia com especial rigor e clareza a existência de situações controversas na HC, que podem ser

resgatadas em contextos didáticos para promover uma educação científica mais crítica e reflexiva.

Exemplo 3:

No período entre 1800 e 1830, experimentos com calor radiante realizados por William Herschel, John Leslie, Macedonio Melloni e outros, apresentaram que algo denominado calor radiante tinha a maioria das propriedades da luz, entre elas, reflexão e refração. Vale ressaltar que no início do século XIX supunha-se que calor e luz eram substâncias fluidas. Para o caso da luz, havia também os partidários de Newton que consideravam a visão corpuscular. Como também havia, para o caso do calor, aqueles que adotavam a visão cinética. E neste ambiente complexo com visões antagônicas de luz e calor que Herschel realizou seus experimentos (OLIVEIRA; SILVA, 2014, p. 148).

Comentários: O experimento que é mote desse artigo foi realizado pelo astrônomo alemão William Herschel (1738 – 1822), no ano de 1800, tendo como principal resultado a descoberta de uma faixa de radiação compreendida fora do espectro visível da luz solar, que seria capaz de provocar grande elevação de temperatura em corpos a ela expostos. Observando um feixe de luz solar decomposto após atravessar um prisma, Herschel notou que essa região estaria situada após a faixa delimitada pela cor vermelha e que, portanto, seria invisível para a visão humana. Os hoje denominados “raios infravermelhos” têm uma enorme diversidade de aplicações em nosso cotidiano, estando presentes em quase todas as residências, de maneira mais evidente, na tecnologia dos controles remotos dos aparelhos eletroeletrônicos. Contudo, o contexto dessa importante descoberta é desconhecido do público geral e, provavelmente, da maioria dos professores de Física. Conforme está declarado neste excerto do artigo, muitas foram as personalidades que se debruçaram sobre essa problemática, e que não necessariamente chegaram às mesmas conclusões a respeito do fenômeno observado. Por ocorrer temporalmente no limiar do século XIX, a análise das explicações envolvendo a existência da recém-observada radiação infravermelha acaba por provocar reflexões em mais de um campo de estudo da Física, com destaque para a Termodinâmica e a Ótica. Portanto, para o professor que teve a oportunidade de conhecer esse histórico em sua formação e explorá-lo criticamente, surge a possibilidade de discutir com seus alunos aspectos controversos das explicações inerentes à descoberta dos então denominados “raios invisíveis”, em sintonia com as teorias vigentes naquela época acerca da natureza do calor e da luz.

4. Identificação de diferentes níveis superpostos de continuidades e rupturas na constituição das ideias científicas ao longo da história.

Exemplo 1:

Lakatos insiste em que, do ponto de vista lógico, não existem "experimentos cruciais", isto é, experimentos ou observações que possam sozinho e instantaneamente acabar com um programa de pesquisa ou decidir entre programas rivais. Tal se deve à possibilidade de "absorver" qualquer fato novo e inicialmente problemático, através de convenientes modificações no "cinturão protetor" do programa sob pressão crítica. A superação de um programa por outro é um processo histórico; depois que ela aconteceu, pode ocorrer que um antigo experimento seja promovido ao status de "experimento crucial". Depois da superação da teoria de Newton pelo programa relativístico, os experimentos de Michelson-Morley sobre a velocidade da luz e mesmo o periélio anômalo de Mercúrio passaram a ser citados como "experimentos cruciais" (SILVEIRA, 1996, p. 224).

Comentários: Ao oferecer essa leitura do pensamento do filósofo da ciência Imre Lakatos (1922 – 1974), o extrato escolhido procura evidenciar que as mudanças de paradigma na ciência dificilmente ocorrem de forma pontual e abrupta, pois as novas evidências, observações e descobertas precisam passar pela análise e crivo da comunidade científica estabelecida em cada época da história. Os momentos de ruptura com a tradição então estabelecida, ou revoluções, geralmente são denominados como tais *a posteriori*, não ocorrendo em concomitância ou na sequência da apresentação de novas teorias. Para além do exemplo mencionado – que evidencia ser comum em ciência a existência de períodos mais longos para o estabelecimento de um novo paradigma, até que o antigo seja totalmente abandonado –, vale destacar, nesse mesmo sentido, um episódio notório emprestado da História da Química: o desenvolvimento da teoria do oxigênio para a combustão. Apesar da controvérsia envolvendo a primazia da “descoberta” do oxigênio, geralmente atribuída a Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794), a publicação dos trabalhos divulgando a teoria do oxigênio não logrou êxito e reconhecimento instantâneo junto aos estudiosos da época, no sentido de convencê-los a abandonar as explicações relacionadas à teoria do flogístico¹¹. Afinal, muitas foram as personalidades cujas pesquisas ligadas ao processo de combustão – dentre as quais se destacam Priestley, Hutton e Richter (que não é o sismólogo cujo nome está associado à escala de medida de terremotos) – seguiram sendo conduzidas com base nas explicações relacionadas ao flogístico, o qual somente algumas décadas adiante efetivamente caiu em desuso.

Exemplo 2:

¹¹ Para mais detalhes a respeito da insistência de alguns cientistas em trabalhar com o flogístico, mesmo após a publicação do *Tratado Elementar de Química* de Lavoisier, em 1789, vide Allchin (1992 e 1994).

Na obra de Kuhn fica patente que só se pode falar em progresso cumulativo da ciência quando se considera um período orientado por um mesmo paradigma. Durante esse período, que ele denomina de ciência normal, “as novidades” acumuladas devem recair no campo de antecipações permitidas pelo paradigma – caso contrário essas novidades aparecerão como anomalias, podendo redundar em fonte de crise para o próprio paradigma que, normalmente, deveriam reforçar (KUHN, 1991). Ressalte-se, como já deve estar claro, que o progresso seria, por consequência, mais decorrente do consenso entre os membros da comunidade científica, da ausência de escolas competindo entre si, o que, naturalmente, reduz a expressão progresso científico a mera tautologia: a ciência progride, portanto, por definição (ANDRADE, 2000, p. 72).

Comentários: Thomas S. Kuhn (1922 – 1996) é provavelmente o historiador da ciência mais conhecido por graduandos em Física. Em sua aclamada obra *A estrutura das revoluções científicas*, esse autor investe parte do livro discorrendo acerca do funcionamento da “ciência normal”. Andrade (2000) ressalta nesse extrato de artigo a dificuldade inerente às tentativas de se definir o conceito de “progresso” em ciência. A habitual coexistência em ciência de diferentes – e por vezes conflitantes – argumentações voltadas para a explicação dos fenômenos naturais é mais regra que exceção. Como comentado no exemplo anterior, não faltam exemplos na HC corroborando essa realidade. Embora proferidas em outro contexto, as palavras do filósofo seiscentista francês Pierre Bayle refletem esse conflito: “Aquilo que parece uma refutação é muitas vezes uma mudança completa de atitudes e de pressupostos, que não tira das teorias precedentes uma capacidade de sobrevivência e vitalidade” (ROSSI, 1992, p. 134). Tal realidade encontra ressonância na noção de incomensurabilidade das teorias científicas defendida por Kuhn, e também comentada por Andrade (2000).

Exemplo 3:

Como foi destacado, um dos momentos mais marcantes da trajetória científica de Compton ocorreu quando ele passou a realizar os seus próprios experimentos. Após as suas primeiras observações, o nosso personagem constatou que o comprimento de onda dos raios X secundários havia sofrido, de fato, uma “real” modificação em relação ao dos raios primários. Nesse estágio do programa de pesquisa, abordagem semiclássica, Compton não utilizou a conservação da energia e a do momento juntas, restringindo-se apenas à aplicação da conservação da energia. [...] Compton também não tinha considerado o fenômeno como um processo de colisão tipo bola de bilhar, ao invés disto, ele descreveu um processo em que o elétron primeiro absorve um momento $h=\nu/c$, e depois, reirradia um quantum de radiação em uma direção definida.

Diferentemente do que ocorria na sua abordagem clássica para o problema do espalhamento, Compton baseava-se naquele momento, fins de 1922, na teoria quântica para explicar os seus resultados, e não mais na teoria clássica. Porém, tal redirecionamento da pesquisa

realizada por ele não significava um total abandono dos pressupostos clássicos. Ainda que a teoria quântica conseguisse explicar o fenômeno do espalhamento, Compton tinha consciência de que a teoria clássica explicava com sucesso as questões relativas a interferência e a difração. Diante de tal dilema, ele concluiu que a teoria quântica poderia ser utilizada quando o processo de trocas de energia no átomo estava em questão. No entanto, a radiação emitida pela matéria seria de natureza ondulatória, contínua. Deste modo, a teoria clássica mostrava-se também aplicável ao problema do espalhamento já que a descontinuidade apenas ocorreria nas transições. Como foi destacado, essa posição era análoga à de físicos como Bohr, embora este lidasse principalmente com a radiação no campo da ótica enquanto Compton lidava com raios X e γ (SILVA; FREIRE JR, 2014, p. 1601-13 e 1601-14).

Comentários: Conforme destacado pelos autores desse artigo, o físico Arthur H. Compton (1892 – 1962), ao analisar um fenômeno já admitido em sua época como possuindo natureza dual, lançou mão de explicações sobrepondo conceitos ligados à Física Clássica (há séculos estabelecida) e à Física Quântica (que, naquela época, já experimentava duas décadas de tentativas para se estabelecer perante a comunidade científica). Tal fato reforça a tese de que o surgimento de uma nova e bem sucedida teoria científica não descarta de pronto o paradigma até então vigente. Esse exemplo, envolvendo os estudos no entorno do descobrimento do Efeito Compton, é realmente muito profícuo para demarcar os limites de validade e coexistência entre “antigas” e “modernas” teorias científicas, principalmente quando o objeto estudado (no caso, radiações eletromagnéticas) ainda nos dias de hoje carece de um enquadramento mais “preciso”. Ou seja, exige explicações advindas de teorias aparentemente conflitantes entre si, pois pode apresentar ora comportamento de natureza corpuscular, ora de natureza ondulatória.

5. Destaque às particularidades das interpretações das várias fontes utilizadas pelos cientistas, incluindo as de caráter extracientífico.

Exemplo 1:

Em nossa análise, notamos nitidamente algo que é comum em muitos livros que abordam História da Ciência de forma distorcida e simplificada o tipo que os historiadores da ciência chamam de história *Whig*, que interpreta o passado utilizando e valorizando conceitos aceitos atualmente e que constrói narrativas históricas baseando-se em personagens principais, ignorando ou menosprezando os feitos de outros. Um exemplo disso é o fato de nenhum livro citar ideias de Franklin que não foram incorporadas ao conhecimento científico atual e que, no entanto, são centrais nas explicações que apresentou para os fenômenos elétricos observados, tais como atração e repulsão. Um destes conceitos é o de atmosferas elétricas, discutido acima (SILVA; PIMENTEL, 2008, p. 155).

Comentários: O destaque feito pelas autoras se aplica, de fato, a boa parte das apropriações feitas em situações didáticas envolvendo a trajetória e o legado das personalidades ligadas à HC. Talvez por falta de formação adequada, ou devido às particularidades do contexto em que atuam, muitos professores de Física acabam levando para suas aulas somente as informações que corroboram uma imagem do cientista racional e pragmático, cujo trabalho teria sido orientado sempre por concepções e atitudes “científicas”, ou seja, “sérias”. Explicações “estranhas” ou de aparência metafísica raramente são apresentadas de forma contextualizada nas aulas de Física. No tocante às mencionadas “atmosfera elétricas”, como bem destacam as autoras em outro trecho do artigo, trata-se de um conceito idealizado pelo alemão Albrecht von Haller (1708 – 1777), que influenciou diretamente na proposta de “fogo elétrico” de Franklin, e estava em sintonia com outras teorias científicas vigentes no século XVIII. Por mais estranhas que possam parecer sob um olhar atual, as explicações sobre fenômenos elétricos baseadas no deslocamento de fluidos seguem a mesma linha utilizada por pesquisas contemporâneas feitas em, por exemplo, Cosmologia e Astrofísica, que consideram a existência da *energia escura* e da *matéria escura*, entidades que servem de solução *ad hoc* para explicar alguns fenômenos gravitacionais. Assim sendo, não seria de se estranhar que – em um futuro próximo – fluidos elétricos e energia escura sejam relegados pelos cientistas da época à mesma categoria de *explicações metafísicas* do passado da ciência.

Exemplo 2:

E contra fatos... há argumentos, apesar do provérbio. Para nos convenceremos disso lembremo-nos, por exemplo, de Priestley frente aos fatos apresentados por Lavoisier. Priestley morreu defendendo aferradamente a teoria do flogístico, opondo-se à explicação dada por Lavoisier, atualmente aceita, para a combustão. Justamente Priestley, o primeiro a engarrafar o oxigênio (ou o que depois seria o oxigênio), chamando-o, então, ar desflogisticado (ANDRADE, 2000, p.71).

Comentários: Se Franklin fundamentou sua teoria eletrostática com base nos trabalhos de cientistas alemães que defendiam a ocorrência de deslocamentos e trocas entre partes materiais dos corpos (“fluidos”), o britânico Joseph Priestley (1733 – 1804) foi fortemente influenciado pelos estudiosos da matéria (Becher, Stahl, Boerhaave, Cavendish) que acreditavam na existência do flogístico como um fluido imponderável capaz de explicar uma série de transformações químicas, como a combustão. Mesmo diante do novo panorama conceitual apresentado por Lavoisier e seus colaboradores, Priestley entendeu que a teoria do flogístico, devidamente interpretada, seria capaz de fornecer as explicações mais adequadas aos fenômenos naturais. Os minuciosos

experimentos com gases realizados por Priestley tiveram profunda influência sobre os trabalhos de vários pesquisadores que o sucederam, como é caso de Dalton.

Exemplo 3:

Oersted nasceu na Dinamarca, lá estudou com muito afinco literatura, ciência e filosofia. Em 1800, conheceu a pilha de Volta, passando a realizar experimentos com ela. De 1801 a 1803, em decorrência de uma bolsa de estudos, visitou a Alemanha, a Holanda e a França tornando-se amigo de expoentes da “Naturphilosophie”, como Schelling e Ritter. Com base em seus estudos de filosofia, e, particularmente, da “Naturphilosophie”, desenvolveu suas atividades científicas apoiando-se na ideia de que a natureza era um todo orgânico harmônico, dotado de uma alma ativa, geradora das forças naturais. Sua concepção filosófica, reforçada por trabalhos de outros filósofos naturais, impulsionou-o a defender ser a afinidade química apenas uma manifestação química da força elétrica. Na verdade, a afinidade química representaria um caso particular de conversão de força e não uma ação específica de uma certa espécie de matéria. Acreditava que investigando-se apropriadamente a natureza encontrar-se-iam outras conversões. Oersted e alguns de seus contemporâneos defendiam existir uma relação entre eletricidade e magnetismo. Por suas concepções teóricas a respeito das “forças da natureza”, era considerado, por seus parceiros, um personagem importante para o desenvolvimento daqueles estudos. Assim, ele sempre recebia notícias dos experimentos e análises teóricas que buscavam explorar aquela relação. Porém, diferente de alguns desses estudiosos, investigou o assunto através da corrente elétrica e não da ação eletrostática. Essa escolha não foi sem propósito, afinal experiências haviam mostrado que era a passagem de corrente elétrica em um fio condutor fino que provocava aquecimento e emissão de luz nesse mesmo fio, e não qualquer ação eletrostática (GUERRA *et al.*, 2004, p. 229 – 230).

Comentários: Tem-se, nesse relato, um interessante caso de sinergia entre motivações de natureza aparentemente metafísica e práticas sistematizadas e conduzidas sobre os tradicionais preceitos condutores de uma atividade dita “científica”. Ao contrário daquilo que se lê em uma série de relatos presentes em livros didáticos e materiais voltados para a divulgação científica, o dinamarquês Hans Christian Oersted (1777 – 1851) não descobriu a existência de uma íntima relação entre fenômenos elétricos e magnéticos de maneira exclusivamente acidental. Na verdade, com base em sua crença dos ensinamentos preconizados pela *Naturphilosophie* – conforme apontam os autores desse artigo – ele acreditava no caráter orgânico e harmonioso da Natureza, utilizando métodos da ciência para identificar diferentes formas de manifestação da essência viva e vibrante dos fenômenos naturais. Ele não era o único homem de ciência que pensava assim naquela época, mas produziu contribuições originais. Portanto, não se deveria dissociar esse aspecto “pitoresco” da personalidade de Oersted – que, no fundo, foi o grande motivador de sua busca insistente por encontrar correspondências entre

fenômenos magnéticos e elétricos – dos resultados “científicos” por ele obtidos, habitualmente divulgados nas aulas de Física.

6. *Reconhecimento da importância de outras tradições intelectuais no desenvolvimento da ciência (e não somente as de origem europeia).*

Exemplo 1:

A visão do papel histórico da astronomia islâmica, na Idade Média, como mera transcritora e tradutora dos trabalhos de Ptolomeu na transmissão do conhecimento para a Renascença, vem, a partir dos estudos de Roberts e Kennedy sobre os trabalhos de Ibn al-Shātir na metade do século passado, sendo completamente modificada, pois pesquisas realizadas, desde então, demonstram a importância da astronomia islâmica como reformuladora dos modelos ptolomaicos. No intuito de estabelecer qual o padrão evolutivo destes modelos e quais os motivos do desenvolvimento desta astronomia não ptolomaica, os modelos islâmicos são, a seguir, dispostos cronologicamente, descritos, analisados e comparados matematicamente aos de Ptolomeu (BARROS-PEREIRA, 2011, p. 4603-1).

Comentários: Este é um exemplo clássico de uma história fascinante e muito rica que não chega às salas de aula. Assim como o artigo aqui destacado, e as diversas fontes consultadas por seu autor, há alguns materiais acadêmicos e de divulgação científica disponíveis para o professor de Física discutir com seus alunos as inegáveis influências da cultura árabe na constituição da ciência ocidental. Além das várias releituras e acertos feitos na obra de Ptolomeu dando sustentação ao Geocentrismo por astrônomos ligados ao Islamismo, há claras e irrefutáveis influências dos tratados astronômicos árabes na escrita do já mencionado *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, de Copérnico. Por exemplo, nessa obra de Copérnico há tabelas, diagramas e extratos traduzidos diretamente para o latim dos trabalhos de Al-Battani (858 – 929), Al-Tusi (1201 – 1274) e Ibn Al-Shatir (1304 – 1375), sendo que somente o primeiro é nominalmente citado por Copérnico na abertura de seu trabalho¹². Vale ressaltar que Al-Tusi e Ibn Al-Shatir têm algumas de suas contribuições para a Astronomia devidamente detalhadas ao longo do artigo em evidência, que se ateve a apresentar um breve histórico de um grupo de astrônomos islâmicos pertencentes à denominada “Escola de Maraghah”, associados ao observatório construído em 1259 na cidade de Maraghah (Irã).

¹² Sobre esse assunto, há uma série em vídeo muito interessante produzida pela BBC-Four no ano de 2009, denominada “Science and Islam”. É apresentada pelo físico britânico de ascendência árabe Jim Al-Khalili, sendo que o 3º. (e último) episódio dessa série – chamado “O poder da dúvida” – está legendado em português, tem cerca de 1 h de duração e encontra-se disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=GnEQiy29Bhs>>. Acesso em 19 nov. 2015.

Exemplo 2:

Em diferentes culturas da Antiguidade, desenvolveu-se também outro modo de interpretar o mundo, a alquimia. Fala-se, pelo menos, em alquimia persa, egípcia, chinesa, grega e árabe, como origem dos diferentes saberes e fazeres que teriam servido para seu desenvolvimento, mas não há uma gênese “exata” para a alquimia, que seja consenso entre especialistas. Ela é, em geral, vinculada ao trabalho prático da metalurgia, quando a arte da transformação dos metais adquiria conotações de uma arte sagrada. Seria uma tentativa de compreender os segredos mais íntimos da matéria, de encontrar a cura de todos os males, do aprimoramento do espírito, da busca pela eternidade, da fabricação de ouro. A compreensão do homem através da interpretação dos céus estava também entre suas práticas e metas (ALFONSO-GOLDFARB, 2001). Quando os processos envolvendo o calor surgem vinculados ao ideário alquímico, por exemplo, em materiais didáticos, costumam estar associados à ideia de Fogo, purificação, alcahest (SILVA *et al.*, 2013, p. 500).

Comentários: A gênese daquilo que com o tempo convencionou-se chamar “ciência” é muito mais complexa e indeterminada do que geralmente é veiculado nos livros didáticos e nos cursos de Física dos vários níveis educacionais. A alquimia, a cabala, o pensamento hermético, a astrologia e tantas outras influências aparentemente “esquisitas” por – de acordo com os critérios atualmente vigentes de demarcação –, serem consideradas influências acientíficas, são parte integrante e indissociável da ciência praticada por muitos dos mais renomados e respeitados personagens da ciência. Esses conhecimentos, muitos dos quais com origens não relacionadas com a civilização europeia, foram determinantes para o desenvolvimento das teorias e práticas que hoje em dia são aceitas, como é o caso dos estudos envolvendo o calor. E, nessa análise, não é necessária uma busca de nomes relacionados às mais priscas eras da história da Humanidade. Um exemplo clássico é Isaac Newton, que além de ter sido um fervoroso crente na ação de um Ser Supremo (“Deus”) na criação e no funcionamento da Natureza, tem seu aclamado método de trabalho (“newtoniano”) guiado por conhecimentos e práticas características dos alquimistas medievais, sacerdotes egípcios, cabalistas etc.¹³ Uma busca suficientemente criteriosa nos materiais didáticos de Física, sejam voltados para o trabalho na Escola Básica ou para o nível superior, evidencia a ausência dessa faceta da personalidade nos relatos sobre Newton.

Exemplo 3:

Por fim, por mais rápida e geral que seja um panorama da Filosofia Natural do século XVII, ele não pode deixar de fazer notar as fontes de influências que hoje consideramos como não ortodoxas ou

¹³ Para o aprofundamento dessa temática, há no mínimo dois excelentes trabalhos que merecem destaque: McGuire; Rattansi (1966) e Forato (2008).

ilegítimas, como as Escrituras Sagradas, a Cabala ou a alquimia. Os filósofos do século XVII e do anterior viveram intensamente e transmitiram a concepção analógica do universo como um Livro. E, como todo livro, para lê-lo seria necessário dominar sua linguagem. De Galileu e Kepler a Boyle e Gassendi, dos princípios filosóficos de Descartes aos matemáticos de Newton, todos possuíram a convicção de que a matemática seria “o alfabeto com que Deus escrevera o universo”. [...]

A numerologia conquistou sua legitimidade enquanto método, e antigas fontes como as dos cabalistas, as dos pitagóricos e dos antigos platônicos foram revisitadas, todas devidamente cristianizadas e modernizadas (BARBATTI, 1999, p.158).

Comentários: Este excerto complementa o imediatamente anterior, dando particular destaque à importância desempenhada historicamente pela Matemática no tocante ao desenvolvimento do pensamento científico, não se limitando a citar unicamente fontes relacionadas à Grécia Antiga (pitagóricos e platônicos). No exemplo aqui comentado, é valorizado o papel da numerologia e da Cabala nos avanços experimentados pela Matemática, particularmente no século XVII. Como se sabe, a Cabala é parte de um sistema filosófico-religioso nascido no seio da comunidade judaica que se baseia em preceitos e práticas de natureza mística e esotérica. Referenciando-se ao momento em que a Revolução Científica é alçada ao mais alto patamar de reconhecimento de sua importância para o desenvolvimento da sociedade ocidental, esse artigo enfatiza, em especial, o significado da crença em Deus para a condução e o desenvolvimento dos trabalhos em ciência realizados por nomes como Galileu, Kepler, Boyle e Descartes, sendo este último, talvez, a maior influência formalmente destacada na obra de Newton.

7. Realce à influência de outros tipos de fatores externos (de natureza psicológica, religiosa e social, por exemplo) na prática científica.

Exemplo 1:

É interessante partirmos de uma breve apresentação da visão de Einstein sobre sua própria formação, pois nela encontramos a motivação de sua “Filosofia da Livre Criação”. [...] (A)o relatar em sua autobiografia um dos principais episódios de sua formação [...] Einstein apresenta uma clara crítica à religião. O fundamento de sua crítica não consiste na negação da metafísica religiosa, mas, sobretudo a maneira dogmática que esta era imposta aos indivíduos. A descoberta de outra forma de pensamento pelo autor vai levá-lo a considerar a necessidade de um livre pensamento. O ponto mais relevante é que da mesma forma que Einstein negava a religião como dogma, o autor teria claro que mesmo outras formas de pensamento podem se reduzir a formas dogmáticas. Além disso, devemos lembrar que o contexto político da época, a Alemanha do início do século XX, fez com que Einstein criasse um forte valor em relação à liberdade, não apenas a liberdade Física, mas principalmente à liberdade de pensamento. Devido a essa concepção, Einstein seria um grande crítico dos métodos de instrução que buscam “domesticar” o

pensamento do indivíduo, impondo-lhe ideias estabelecidas (GURGEL; PIETROCOLA, 2011, p. 1602-6 e 1602-7).

Comentários: A capacidade de idealização de Albert Einstein (1879 – 1955) dos chamados “experimentos mentais” é uma faceta muito reconhecida e admirada de sua personalidade, citada com relativa recorrência como um diferencial que teria influenciado de forma positiva boa parte de seu legado científico. Dentre esses experimentos, considero relevante fazer uma sumária menção ao menos a dois: o “paradoxo dos gêmeos”, utilizado para reforçar as ideias heterodoxas sobre dilatação temporal apresentadas em sua Teoria da Relatividade Restrita, e o “elevador de Einstein”, idealizado como uma tentativa de provar o chamado “princípio de equivalência”, no caso entre as noções de massa inercial e massa gravitacional (a massa, como se sabe, é um conceito central na formulação da mais conhecida equação de Einstein). É claro que os experimentos mentais não são uma prerrogativa exclusiva de Einstein, sendo parte da “filosofia de trabalho” de diversas outras personalidades da ciência, o que pode ser exemplificado pelo “balde de Newton”, o “gato de Schrödinger” e o “microscópio de Heisenberg”. O artigo citado pontua alguns fatos que levaram Einstein a buscar formas alternativas para interagir com o contexto educativo e cultural em que cresceu, por ele considerado repressivo e cerceador de importantes processos criativos. Com base nas descrições oferecidas, é possível discutir com os alunos a importância da imaginação na construção das teorias científicas.

Exemplo 2:

Maupertuis propôs um princípio geral de que "quando ocorre qualquer mudança na natureza, a quantidade de ação necessária para essa mudança é a menor possível". Afirmou que o princípio de ação mínima seria universal, válido para choques de corpos elásticos e inelásticos e no caso do equilíbrio (alavanca), e que por isso não encontrava equivalente em nenhum dos princípios conhecidos até então. Posteriormente, Maupertuis publicou uma nova versão desse trabalho como parte de seu livro *Essai de cosmologie*, em 1750, porém não adicionou nada de importante, sob o ponto de vista científico, aos trabalhos anteriores.

Além dessa contribuição puramente científica, no nosso sentido atual, Maupertuis também estava preocupado com questões filosóficas. Em todos esses trabalhos, ele parece interessado não apenas nos aspectos físicos do seu princípio, mas também (e talvez *principalmente*) na sua aplicação filosófica, como prova da existência de Deus e de sua influência na natureza. Ele considerou que o princípio de ação mínima podia ser considerado um uso da ideia das *causas finais*; e que a existência desse tipo de princípio na natureza, associada a sua universalidade, poderia ser utilizada como uma prova da existência de Deus (SILVA; MARTINS, 2007, p. 626, destaques em *italico* no original).

Comentários: Como muitas personalidades de sua época, Pierre L. M. de Maupertuis (1698 – 1759) ofereceu contribuições para diversos campos da ciência, tendo seu nome mais fortemente relacionado à formulação do Princípio da Ação Mínima, que oferece aplicações em Física relacionadas tanto à Mecânica, quanto à Óptica. O comentário presente neste extrato do artigo, chamando a atenção para a motivação filosófica desse trabalho de Maupertuis, enfatiza um aspecto da prática científica que ainda era muito marcante no século XVIII: a crença em Deus e a possibilidade de se utilizar os métodos da ciência para demonstrar Sua existência. Em qualquer nível de ensino, não é absurdo afirmar que as aulas de Física são carentes desse tipo de abordagem, que abre espaço para questionamentos envolvendo as motivações das personalidades que historicamente ofereceram contribuições para o desenvolvimento da ciência. Nesse sentido, como mencionado em relação ao século XVIII, personalidades do século XVII (Leibniz, por exemplo) partiram de motivações e ideais metafísicos para, ao longo do tempo, atingirem uma formulação científica mais próxima àquela reconhecida atualmente. Esse *modus operandi* também caracterizou o surgimento de outros princípios de conservação muito importantes em Física (quantidade de movimento, energia e massa, por exemplo).

Exemplo 3:

Heinrich Hertz, em 1892, foi o primeiro a descrever que os raios catódicos podiam atravessar folhas finas de metal, ao estudar esses raios dentro do tubo de descarga (HERTZ 1992). Seu aluno Philipp Lenard conseguiu construir tubos de descarga dotados de uma janela de alumínio, de tal modo que os raios catódicos podiam sair do tubo e ser estudados no ar ou em outros gases (LENARD 1894a). Nessa época, essa radiação visível no ar passou a ser chamada de “raios de Lenard” (ver ROMER 1959, p. 276; JAUNCEY 1945, p.372). Esses raios podiam atingir uma distância de alguns poucos centímetros no ar. Corpos luminescentes colocados perto do tubo se tornavam luminosos. Lenard observou também que esses raios eram capazes de sensibilizar chapas fotográficas e descarregar eletroscópios. É interessante notar que o efeito elétrico era observado mesmo a distâncias muito maiores do que a penetração dos raios de Lenard no ar: até distâncias de 30 cm. É provável que Lenard estivesse na verdade observando o efeito de raios X, mas ele não investigou o fenômeno.

N.R.: Seliger atribui a não descoberta dos raios X por Lenard a sua falta de tempo ou de equipamento para pesquisas, na época: no início de 1894 Hertz (de quem Lenard era assistente) faleceu e Lenard assumiu o cargo de Diretor do departamento de Física em Bonn e dedicou-se à publicação dos trabalhos de Hertz. Depois, em 1895, Lenard aceitou um posto na Universidade de Breslau, onde não tinha a aparelhagem necessária para experimentos com raios catódicos. Apenas no início de 1896 ele conseguiu condições para reiniciar seus estudos sobre raios catódicos, mas então Röntgen já tinha feito sua descoberta (MARTINS, 1998b, p. 376).

Comentários: A nota de rodapé (N.R.) que acompanha esse último excerto lança luz sobre uma influência na formulação das teorias e experimentos científicos que

raramente é cogitada: o meio social em que transitou determinada personalidade. Philipp E. A von Lenard (1862 – 1947) chegou muito perto de ser reconhecido pelo descobrimento dos raios X, pois, como consta nesse artigo, trabalhava com tubos de raios catódicos de boa qualidade até mesmo antes de Röntgen, o qual recebeu o primeiro Prêmio Nobel de Física exatamente pela descoberta dos raios X. Porém, o fato de Lenard ter aceitado dar continuidade aos trabalhos de Hertz acabou por afastá-lo temporariamente do contato com experimentos envolvendo tubos de raios catódicos. Como em qualquer profissão, a ciência também tem seu desenvolvimento relacionado a elementos que extrapolam as paredes dos ambientes em que normalmente suas ações são discutidas e praticadas (neste caso, os laboratórios). Assim sendo, é muito importante deixar claro que as conhecidas descobertas feitas e publicadas em ciência poderiam claramente ter sido obtidas por outras personalidades que, na mesma época considerada, optaram por (ou se viram forçadas a) trilhar outros caminhos.

1.2.5 – Entre os parâmetros, a catequese e a prática: importância e limites do trabalho com vertentes historiográficas segundo a visão de um grupo de licenciados

A seção anterior procurou lançar luz sobre os critérios que caracterizam uma possibilidade de descrição de vertentes historiográficas da HC. Como previamente enfatizado, o detalhamento dos excertos escolhidos visou, dentro das limitações dessa abordagem, dirimir dúvidas a respeito da interpretação dos referidos critérios. Porém, considerando tratarem-se de parâmetros voltados à identificação de narrativas históricas em materiais passíveis de utilização em contextos didáticos, considero possível e natural que os professores de Física mantenham boa parte de suas leituras e convicções anteriores à apresentação desses critérios. Ou seja, não seria de se estranhar se os professores insistissem em escolher materiais contendo, segundo o olhar dos historiadores da ciência, distorções e inadequações historiográficas.

Como já destaquei, tenho acompanhado nas publicações, nos eventos científicos e cursos de extensão a insistência dos historiadores da ciência em evidenciar os riscos e prejuízos dessa prática para a visão de ciência propagada entre os alunos (Gil-Pérez *et al.*, 2001; Allchin, 2004; Höttecke e Silva, 2011), considerando que muitos materiais utilizados não apresentam qualquer ressonância com a MHC. Sob minha ótica, enquanto defensor da MHC como norteadora da aproximação entre a HC e a prática docente em Física, tais discordâncias fomentam o debate visando à circunscrição das possibilidades e dos limites dos usos didáticos da HC, mas carecem de efetividade e pragmatismo no que diz respeito a viabilizar sua implementação no cotidiano dos professores de ciências.

Ainda que controversa, essa parece ser, em parte, a opinião subjacente em Matthews (1995), segundo o qual os educadores em ciência aceitariam sem maiores problemas – ou enfrentamento de dilemas – a existência de algumas formas de distorção presentes nas narrativas históricas utilizadas em situações didáticas envolvendo apropriações da HC, fato que seria justificado pelos notórios ganhos em termos da proposição de discussões acerca da *natureza da ciência*.

Com base nos documentos oficiais e, especialmente, em minha formação e experiência enquanto docente de Física, acredito ser possível a busca por um meio termo entre o “vale tudo” e a “catequese”; isto é, não considerar normais e adequadas escolhas de materiais históricos sem qualquer alinhamento com os atuais propósitos de educação científica, ao mesmo tempo em que se *tolere* a presença de um ou outro recurso menos preciso em termos historiográficos (textos, vídeos etc.) capaz de abrir espaço para discussões importantes em sala de aula. Isto porque, entre os professores em formação, não acredito em uma conversão tão imediata e consciente aos propósitos da MHC.

Procurando dar sustentação a essa asserção, lancei, para duas recém-licenciadas em Física da instituição em que trabalho como docente, a seguinte proposição:

- Descreva como foi sua experiência ao trabalhar com os critérios delimitadores da AHC e da MHC, em especial a busca de trechos representativos de cada um desses critérios nos periódicos indicados. Para tanto, exponha de forma sucinta sua compreensão sobre a AHC e a MHC, e comente sobre os critérios que para você se mostraram mais fáceis e, principalmente, mais difíceis de serem compreendidos.

No processo de seleção dos excertos comentados na seção anterior, promovi alguns encontros com as licenciadas em referência, convidando-as a fazer uma leitura crítica dos periódicos selecionados. Apresentei-lhes os critérios gerais de seleção por mim utilizados na busca dos excertos e, a seguir, repassei os critérios historiográficos referentes à AHC e, também, à MHC.

A escolha pelo trabalho com essas licenciadas se deu em função de características específicas de suas trajetórias na graduação, que apresentavam sintonia com os propósitos deste trabalho: ambas as alunas cursaram disciplinas abarcando os usos da HC no Ensino que incluíam elementos teóricos e práticos, e nas quais o detalhamento e a presença dos critérios historiográficos estiveram presentes; ambas apresentaram trabalhos em eventos científicos a respeito da temática em

questão (sob minha orientação) e, em particular, uma dessas licenciadas (aqui identificada por “B”) foi por mim orientada, por dois anos e meio, no contexto do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), e, também, por mais um ano letivo, em uma Iniciação Científica institucional mantida pelo próprio IFSP, sempre trabalhando com a HC sob o viés da MHC. Além disso, ambas têm experiência docente em sala de aula.

Seguem-se as devolutivas das licenciadas que, independentemente da qualidade dos estilos de redação e da ortografia utilizadas estarem, ou não, em conformidade com a norma culta, reproduzi na íntegra:

Licenciada A

“Confesso que senti e ainda continuo com dificuldades em realizar análises ao redor de artigos que gerem discussões sobre a ANTIGA e NOVA história da ciência. Pois, ao me deparar com uma série de critérios percebi que o meu capital cultural influencia no julgamento se um item é cabível em um artigo, se é em outro, ou ainda se o mesmo não se enquadra em nenhum dos textos estudados.

Os critérios que considerei mais fáceis da AHC foram: busca e apologia aos precursores “geniais e iluminados” das teorias atualmente aceitas, noção de progresso como um processo linear, evolutivo e cumulativo, gerando um conhecimento “cada vez melhor”, supervalorização das ideias, experimentos e teorias da ciência considerando apenas aspectos internos da ciência.

Ainda que eu tenha assinalado julgar os excertos acima mais fáceis, isto não significa que a minha interpretação sobre os mesmos tenha sido exatamente igual a de um historiador da ciência. Por este motivo, enfatizo a dificuldade da compreensão da HC.

O critério que considerei mais difícil da AHC foi: atemporalidade das proposições efetuadas em ciência, reforçada por uma abordagem anacrônica e presentista considerando que as ideias em ciência mudam somente devido à racionalidade, ao olhar para o passado com os valores, conceitos e pensamentos do presente procurando somente aquilo que parece ter dado origem ao que hoje se reconhece como correto.”

Licenciada B

“Para entender alguns critérios tive que recorrer às anotações feitas nas nossas conversas; nas aulas que tive com você e no livro ‘A história da ciência para a formação de professores’, que nada mais é do que suas aulas utilizando uma outra linguagem e outros exemplos que diferem dos que você apresentou.

Alguns critérios me pareceram no primeiro momento mais fáceis de identificar em alguns textos, como por exemplo, nos critérios da AHC os itens 1,2,3 e 4, e na MHC, 1 e 3.

Entretanto, em muitos momentos fiquei em dúvida em relação a esses itens, pois apesar de em um momento achar que eles eram adequados, ao reler a mesma frase do texto eu tinha um novo entendimento. O texto poderia apresentar apenas um personagem, o que me fazia

entender que seria um estudo de caso, em seguida, mostrava que não era bem isso, na verdade, o autor colocava apenas esse personagem por achar que ele era o mais importante, ou o único que valia a pena retratar ou discutir, o que me deixava confusa no fim da leitura.

A maioria dos textos mais antigos, no sentido de terem sido publicados há mais tempo, os autores parecem estar escrevendo para eles mesmos, pois não vi uma preocupação deles tentarem esclarecer alguma coisa, ou informar, parecia um texto como uma aula expositiva, o cara dá as informações sem ter preocupação com o que o receptor vai entender, ou como vai usar a informação.

Já os mais recentes, possuem muita informação, mas sem minúcia. A maioria não entendi a referência, e cheguei a olhar uns dois textos a referência pra entender o que o autor queria dizer.”

Mesmo consciente das dificuldades inerentes ao trabalho com a HC no Ensino, confesso ter me decepcionado com os relatos das licenciadas. Além disso, observei o baixo nível de adequação dos excertos por elas escolhidos com aquilo que previa cada critério historiográfico.

Além de considerar o fato de que a visão de HC das licenciadas ter sido em grande parte “talhada” pelas aulas e demais momentos acadêmicos que tive a oportunidade de com elas compartilhar, promovi, durante o período de escolha dos excertos, dois encontros presenciais com o objetivo de dirimir suas principais dúvidas. A leitura atenta dos relatos das licenciadas denota sua dificuldade de interpretação daquilo que de fato estabelecem vários dos critérios, seja da AHC ou da MHC.

Assim sendo, a impressão que fica é a de não ser a atitude mais adequada o descarte sumário de determinado material didático por apresentar características da AHC, pois, provavelmente, algo ali pode ser aproveitado (como exemplo ou como contraexemplo). Fazendo uma analogia com um conhecido ditado popular, haveria semelhança com aquela mãe que, após banhar seu bebê em uma bacia, verifica que a água ficou suja e, inadvertidamente, joga fora o bebê juntamente com a água suja. A “censura” a determinados materiais didáticos pode levar o professor de ciências a abandonar por completo qualquer abordagem histórica, por se sentir incapaz de distinguir entre a AHC e a MHC.

Tal realidade levou-me a revisitar os resultados referentes a um bloco de aulas que ministrei ao longo de alguns semestres letivos no IFSP, no contexto da disciplina de Ciência, História e Cultura (CHC). A temática abordada era “Os árabes e suas contribuições para a ciência”. Resumidamente, em um desses semestres escolhi e disponibilizei para os alunos três materiais diferentes abordando essa temática, a saber:

- Texto acadêmico - **TA** - (Alfonso-Goldfarb, 1991), escrito por uma renomada historiadora da ciência, publicado em um periódico especializado em HC e em alinhamento com os critérios da MHC;
- Capítulo de um livro paradidático - **LP** - (Chassot, 1994), escrito por um educador em ciências, publicado por uma editora comercial, estando atualmente na sétima edição. É evidente a afinidade deste texto com as características da AHC; e
- Vídeo - **VD** - *Science and Islam - Part 1 (The language of science¹⁴)*, produzido pela rede de comunicações britânica BBC e apresentado pelo físico e professor iraquiano (naturalizado britânico), Jim Al-Khalili, reconhecido cientista laureado com diversas premiações, principalmente por suas contribuições à divulgação científica. Deixando claro tratar-se de uma obra voltada para a divulgação científica, verifica-se o cuidado com o levantamento do material que dá suporte à narração e ao encadeamento dos fatos apresentados por diversos historiadores da ciência e especialistas em aspectos da cultura islâmica entrevistados ao longo do documentário. Isto posto, considero o vídeo mais alinhado com o que prevê a MHC.

A seguir, uma dupla de alunos ficou responsável por apresentar aos demais colegas, durante a aula, cada um desses materiais, além de ter o compromisso de declarar suas opiniões acerca das informações analisadas e, ainda, sobre a pertinência e o valor didático desse material, seja para aplicação direta com os alunos da Escola Básica ou na forma de recurso instrucional para os docentes de ciências. Vale destacar que os alunos já haviam tido contato formal, em aulas teóricas, com os critérios historiográficos da AHC e da MHC, além de terem feito a análise de ao menos cinco textos com claro e manifesto alinhamento com a MHC.

A dupla de alunos responsável pela apresentação inicial dos materiais disponibilizados optou pelo detalhamento do **LP** cotejando suas colocações com o **VD**, justificando o abandono do **TA** na análise pelo fato do mesmo ser de difícil entendimento, devido principalmente ao emprego de uma linguagem por demais rebuscada. Questionados acerca dessa opção feita pela dupla, os demais alunos confirmaram ter encontrado severas dificuldades para ler o **TA**, afirmando, por exemplo: “*poucas vezes demorei tanto para ler um texto com menos de dez páginas para, ao final, ter que reler tudo de novo porque percebi não ter entendido quase nada*”; “*tentei seguir sua [do professor] orientação de desmembrar as referências [bibliográficas], mas não tinha nenhuma em português; aí, desisti*”; e “*quantos anos*

¹⁴ Disponível em: < http://www.youtube.com/watch?v=TPlaS_wGzx8>. Acesso: 09/04/2014.

alguém precisaria estudar para ter um pouquinho do conhecimento dessa autora? Com a quantidade de aulas que já dou hoje, fica difícil...”¹⁵.

Quanto ao **LP**, é fundamental destacar que a maioria absoluta dos alunos o considerou mais adequado para o trabalho junto aos alunos da Escola Básica, por sua linguagem muito mais próxima à do **VD**, ainda que no **LP** tenham reconhecido a presença de algumas distorções historiográficas. Foram recorrentes observações do tipo: *“gostei muito do texto, principalmente pela quantidade de informações nele presentes que eu jamais tinha ouvido falar”*; *“ele [LP] é muito mais próximo do vídeo do que o artigo, falando até da importância do movimento de traduções para o avanço da ciência”*; e *“ainda que tenham alguns erros historiográficos no livro, ele é muito mais fácil de ser trabalhado com os alunos”*.

Sobre tais “erros” – grafados aqui propositadamente entre aspas devido à quase ausência de problemas que parecem gerar, do ponto de vista daqueles licenciandos, para a apresentação de uma visão mais fiel do empreendimento científico –, as aulas anteriores parecem ter surtido o efeito de treinar seus olhares para percebê-los, pois muitos foram os licenciandos que destacaram: a ausência de discussão dos fatos apresentados em seu contexto de época; o tratamento linear, superficial e desconexo dos acontecimentos; e a enorme quantidade de nomes apresentados.

Por sua vez, o **VD** foi quase unanimidade entre os licenciandos quanto ao dinamismo e ao bem dosado aprofundamento das informações nele contidas, oferecendo um imenso manancial de temáticas a serem exploradas juntos aos alunos da Escola Básica, fato corroborado pelas seguintes afirmações e questionamentos: *“não fazia a menor ideia de que o Corão, ao contrário da Bíblia, mandava seus seguidores pesquisarem na Natureza respostas para as doenças”*; *“até palavras mais complicadas, como majilis, são explicadas direitinho no vídeo”*; e *“por que minhas aulas de história no colegial nunca falaram dos árabes?”*.

Enquanto professor da disciplina, pude constatar nesse momento uma dura realidade: a apresentação contextualizada dos critérios historiográficos aos licenciandos – mesmo que permeada por exercícios visando sua maior compreensão –, pode até apurar seus olhares acerca das tão comentadas “visões distorcidas” sobre a *natureza da ciência*, mas não assevera legitimidade suficiente para que eles descartem, em definitivo, a possibilidade de utilizarem recursos que claramente lançam mão da apropriação de uma abordagem historiográfica ultrapassada para, em

¹⁵ As falas aqui atribuídas aos alunos foram gravadas durante as referidas aulas, obviamente com a anuência de toda a sala, composta somente por alunos maiores de idade.

vez disso, adotarem em suas aulas o uso exclusivo de materiais reconhecidamente chancelados por historiadores da ciência com formação atualizada.

Suspeitando que essa realidade localizada possa apresentar ressonância com algumas situações vivenciadas por colegas que trabalham com a HC em disciplinas que compõem a grade curricular de outras licenciaturas em Física do país, ou até no próprio IFSP-SP, mas em outros semestres letivos, decidi fazer a consulta aos professores de Física em formação que é detalhada no próximo capítulo. Os resultados dessa consulta ofereceram suporte aos demais passos da presente investigação, e foram baseados na aplicação de um questionário diagnóstico elaborado em consonância com os resultados de trabalhos da área de Ensino de Física, os quais destacam fatores favoráveis e contrários aos usos da HC no Ensino.

Capítulo 2

A formação do licenciando e o valor didático atribuído à História da Ciência

Quem ocupa o trono tem culpa,
Quem oculta o crime também.
Quem duvida da vida tem culpa,
Quem evita a dúvida também tem.
Somos quem podemos ser;
Sonhos que podemos ter.

*Somos quem podemos ser
(Humberto Gessinger)*

2.1 – O Questionário Diagnóstico (QD) – triagem dos sujeitos alinhados com os propósitos da pesquisa

2.1.1 – Critérios utilizados na formulação do QD

Os relatos oferecidos pelas alunas recém-licenciadas em Física que serviram de referência para parte das considerações feitas no final do capítulo anterior (externando dificuldades na compreensão, no discernimento e na aplicação dos critérios historiográficos) vieram reforçar uma suspeita que me acompanha há anos, relacionada às tentativas de utilização da HC na formação de professores de Física: será que a importância da presença da HC nas aulas de Física é tão consensual junto aos professores em formação como parece ser para os acadêmicos que investigam essa temática?

Principalmente nas últimas três ou duas décadas, é possível perceber a presença de uma grande quantidade de trabalhos acadêmicos defendendo a presença da HC nos cursos de formação de professores de Física e/ou nas aulas da Escola Básica (ROBILOTTA, 1988; ZANETIC, 1989; PRADO, 1989; PRUMFREY, 1991; GIL-PÉREZ, 1993; MATTHEWS, 1995; CARVALHO; VANNUCHI, 1996; MENEZES, 2000; MEDEIROS, 2000; MARTINS, 2006; FORATO *et al.*, 2011). Em tese, essa concepção deveria ser compartilhada pelos professores – formados ou em fase de formação –, conforme relata Martins (2007) em um trabalho de expressiva influência junto aos profissionais da área de Ensino de Física.

Todavia, Vilas Boas e colaboradores (2013) ressaltam a atual carência de discussões e argumentos contrários à inserção da HC no EC. Segundo Vilas Boas *et al.*, essa inserção teria se tornado mais evidente e justificável após a publicação de Matthews (1994). Um levantamento bibliográfico da literatura brasileira a respeito do tema *natureza da ciência*, feito por esse grupo de pesquisadores, sugere que,

após o estabelecimento das teses de Matthews, não ocorre o debate entre contrários e favoráveis à inserção de história da ciência no ensino de disciplinas científicas. As alegações favoráveis sintetizadas de forma magistral por Matthews, simplesmente, se estabeleceram paradigmaticamente e nossa função – enquanto pesquisadores em ensino de ciências preocupados com o problema da história da ciência no ensino – passou a ser a de saber *como* se daria esta inserção (VILAS BOAS *et al.*, 2013, p. 294, destaque em itálico no original).

Estando em desacordo com essa mudança de foco (de **se** utilizar ou não, para **como** utilizar a HC no Ensino), por entender que o reconhecimento dos valores e possibilidades de apropriação característicos da realidade de cada contexto educacional precede as prescrições consensuadas em nível acadêmico, interessei-me por verificar junto aos docentes seus efetivos interesses em ver essa temática presente nas aulas de Física, tendo por base instâncias relacionadas à formação que receberam.

Ao dar voz aos licenciados, pretendo ir além de um interesse pessoal em reafirmar a importância da presença da HC no processo de formação dos professores de Física. Minha principal intenção passa a ser o trabalho na interface que aparta as determinações teóricas e os consensos erigidos em nível acadêmico daquilo que os docentes acreditam ter, de fato, utilidade em seu cotidiano.

Afinal, como diz a epígrafe deste capítulo, há sempre um hiato entre nossos maiores anseios e necessidades e, do outro lado, nossas concretas possibilidades e limitações. Ao colocar em xeque prescrições e procedimentos que parecem carecer de maior efetividade, busco indícios que me conduzam a atenuar minhas dúvidas e a sensação pessoal de baixa eficácia ao trabalhar com a HC junto aos futuros docentes.

Assim sendo, ao desenvolver esta tese, elaborei um breve questionário–piloto para ser aplicado aos professores em formação. Com o auxílio de um aluno do IFSP-SP que havia cursado disciplinas sobre a utilização da HFC na prática docente, apliquei o questionário–piloto a um grupo de 59 licenciandos em Física. A tabulação e análise dos dados obtidos deu origem a uma comunicação oral apresentada no XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, na cidade de Uberlândia (SCHMIEDECKE; TADEU NETO, 2015).

Essa investigação revelou que cerca de 73% dos professores em formação que responderam ao questionário concordaram em atribuir um elevado valor didático à HFC; em contrapartida, menos de 40% desses sujeitos se declararam suficientemente preparados para utilizar a HFC em suas ações didáticas.

Ou seja, nessa prévia, verifica-se um elevado valor didático atribuído à HFC pelos licenciandos – ainda que não tenha sido uma unanimidade – mas, em

contrapartida, grande parte desses sujeitos declarou não se sentir em condições de propor e dar sustentação a esse tipo de abordagem em suas aulas.

Tais resultados, somados às contribuições oferecidas pelos participantes da sessão de comunicações orais do XXI SNEF em que o trabalho em referência foi apresentado, levaram-me ao aprimoramento daquela versão do questionário-piloto e, também, à busca por formas de aplicá-lo para um maior contingente de licenciandos.

Mesmo estando comprometido, neste trabalho, com o levantamento e a montagem de um quadro sobre a experiência no processo de graduação e, também, as impressões de cerca de uma centena e meia de professores em formação, o caráter predominante desta pesquisa é qualitativo ou, de forma mais específica, *interpretativo*, termo que a torna mais abrangente e tenta evitar a ideia de que seja essencialmente uma investigação de caráter não quantitativo (Erickson, 1986 *apud* Moreira, 2011).

Cabe destacar ainda que, para além dos indicativos numéricos reforçando preocupações e, por consequência, o redirecionando de minhas intenções originais, meu principal propósito ao utilizar questionários foi dar voz aos licenciandos e coletar suas impressões em relação aos matizes da peculiar aproximação que investigo.

Portanto, concentro-me a seguir no detalhamento dos critérios de elaboração, aplicação e análise do questionário inicial deste trabalho, denominado *Questionário Diagnóstico* (QD), cujos resultados permitiram-me selecionar os sujeitos mais adequados aos propósitos originais desta pesquisa e formular boa parte das questões constituintes de um segundo questionário (que será detalhado na segunda seção deste capítulo). Este segundo instrumento, por sua vez, contém os elementos voltados para a identificação dos caminhos a serem seguidos na elaboração do “Estudo de Caso”.

O QD (Apêndice A) foi, em grande parte, baseado na escala Likert, e aplicado por professores universitários a alunos de licenciatura em Física da Universidade de São Paulo (USP) e do IFSP-SP.

O contato com os professores da USP foi estabelecido via e-mail, por interpelação direta em congressos e eventos científicos, ou recorrendo objetivamente a colegas com os quais eu já havia trabalhado ou estudado. Os professores do IFSP-SP foram contatados diretamente nas dependências dessa instituição.

O objetivo principal ao aplicar o QD foi a identificação dos sujeitos que consideram a HC como relevante estratégia didática para o ensino de Física na Escola Básica, mas que, apesar disso, encontram grandes dificuldades para efetivar essa aproximação, não se sentindo suficientemente preparados para implementá-la.

Justifico meu interesse nesses sujeitos com base no aparente desperdício aqui existente. Trata-se de um expressivo contingente de profissionais que não farão uso de uma importante e valorizada ferramenta pedagógica em função de uma sensação de impotência, originada e sedimentada durante seu processo de formação básica.

Retornando ao detalhamento do QD, em sua diagramação e configurações finais, esse instrumento foi impresso em uma única folha (frente e verso) de papel A4, requerendo dos licenciandos respostas rápidas e objetivas, sejam por atribuição de graduação simples (com valores de 1 a 4) ou pela marcação direta (com um “X”) das justificativas por eles identificadas como as mais adequadas dentre as apresentadas em um conjunto previamente oferecido.

Dessa maneira, a tabulação do QD mostrou-se bem simples, favorecendo a rápida identificação e constituição do grupo de sujeitos aptos à participação nas fases posteriores desta pesquisa, que incluem o Questionário Investigativo (QI), detalhado na próxima seção deste capítulo. Os professores que aplicaram os questionários relataram que os respondentes não levantaram dúvidas significativas em relação ao material que lhes foi apresentado. Isso constitui indício da clareza da apresentação dos propósitos da pesquisa, por meio das instruções constantes no início do QD. Considerando que esses professores também declararam ter sido sempre inferior a 20 minutos o tempo para o preenchimento do QD, os níveis de simplicidade e objetividade desse instrumento parecem ter atingido os patamares originalmente planejados.

Essa etapa da investigação conseguiu, ao final, contar com um contingente de 148 respondentes ao QD, sendo 65 alunos da USP e 83 alunos do IFSP-SP – todos alunos das licenciaturas em Física.

Após a quarta e última questão, o QD apresentava um campo destinado à identificação básica dos respondentes, solicitando as seguintes informações:

- ✓ Nome e e-mail: dados visando ao estabelecimento de contatos futuros com os respondentes enquadrados no perfil buscado nesta pesquisa, que seriam convidados para também responderem aos dois questionários posteriores;
- ✓ Instituição de ensino: dado permitindo distinguir e cotejar as respostas dos participantes em função da formação oferecida em cada IES; e
- ✓ Percentual aproximado de disciplinas já cursadas: informação voltada à tentativa de verificação da influência do “grau de escolaridade” nas escolhas efetuadas pelos estudantes.

Com um total de quatro questões, as respostas a serem dadas às duas primeiras eram baseadas na escala Likert, ao passo que as outras duas solicitavam a marcação direta de possibilidades com as quais os respondentes mais se identificassem acerca daquilo que lhes era inquirido.

Sem declarar de antemão a principal intenção da pesquisa, na tentativa de evitar um direcionamento de olhares e atenções dos respondentes, as questões do QD tinham as seguintes características:

- I) Visando identificar o valor didático atribuído a alguns recursos habitualmente disponíveis [Abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), Abordagem Interdisciplinar, Aproximação Arte e Ciência, Contextualização (“Física do Cotidiano”), Experimentação, História e Filosofia da Ciência (HFC), Resolução de Problemas, Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) e Visitas a Museus de Ciência], solicitava ao respondente a marcação de números de 1 a 4 para cada um deles, sendo que 1 e 2 indicariam valores baixos e, 3 e 4, valores elevados. Propositamente, não foi oferecida uma resposta intermediária a esses extremos;
- II) Buscando reconhecer o quanto o respondente se sentia preparado para, de fato, utilizar aqueles mesmos recursos em suas aulas de Física na Escola Básica, solicitava a marcação de números de 1 a 4 para cada um dos recursos apresentados, sendo que 1 e 2 indicariam baixo preparo e, 3 e 4, elevado preparo. Assim como para a questão 1, não foi oferecida uma resposta intermediária a esses extremos;
- III) Somente a partir desse momento, no verso da folha entregue, declarou-se ser a pesquisa relacionada à HFC, solicitando aos respondentes que na questão 1 sinalizaram positivamente para o valor didático da HFC para marcarem, dentre nove justificativas oferecidas, todas aquelas que eles verdadeiramente considerassem relevantes; e
- IV) Procurando focalizar os obstáculos aos usos da HFC no Ensino, solicitava aos respondentes que na questão 2 declararam não se sentirem preparados para utilizar a HFC em suas ações didáticas na Escola Básica para marcarem, dentre nove possibilidades oferecidas, todas aquelas que contribuíssem para suas dificuldades ou necessidades.

A opção por não declarar de início aos licenciandos meus reais interesses de pesquisa será explorada mais adiante, ainda neste capítulo, por ocasião das análises do conjunto de respostas tabuladas. Por enquanto, basta ficar claro que, em vez de

objetivamente lhes perguntar se consideram a HFC como um importante recurso didático, procurei lhes oferecer diversas possibilidades, visando evitar vieses nas respostas. Assim, puderam refletir e cotejar a HFC com outras estratégias possíveis e consagradas na literatura especializada.

Nesse sentido, as estratégias didáticas oferecidas foram dispostas em ordem alfabética, na tentativa de não privilegiar qualquer desses recursos junto aos respondentes.

Conforme já foi destacado, os estudos envolvendo a HC realizados em cursos de licenciatura em ciências estão atrelados à possibilidade de explicação de aspectos da NdC (sejam eles consensuais, ou não). Portanto, seguindo uma tendência da área de EC, denominei História e Filosofia da Ciência (HFC) esse campo/estratégia/recurso didático apresentado aos licenciandos no questionário, estando de acordo com os nomes atribuídos, por exemplo, às seções e temáticas dos diversos eventos científicos abarcando o Ensino de Ciências (congressos, encontros, simpósios etc.). Os demais recursos didáticos citados no questionário foram escolhidos com base em minha experiência como professor de Física e, principalmente, no diálogo com diversos colegas e professores envolvidos em formação docente, muitos deles atuantes em faculdades de educação do nosso país. A análise das respostas dos licenciandos referentes a esses outros recursos didáticos não será feita aqui, por fugir ao escopo do presente trabalho.

2.1.2 – Tabulação das respostas

Após aplicar os questionários segundo as condições descritas, tabulei o número total de indicações oferecidas para cada estratégia didático-pedagógica. Os resultados referentes a cada uma das quatro questões são apresentados a seguir. Cada conjunto de tabelas apresenta valores referentes à USP, ao IFSP e, exceção feita à tabela comparativa das IES por “nível de escolaridade”, ao total de sujeitos pesquisados.

1ª. QUESTÃO: *Diversas são as estratégias e os recursos disponíveis para os professores de Física atualmente constituírem as ações didático-pedagógicas norteadoras das suas aulas. Com base na legenda oferecida, atribua, marcando com um “X”, conceitos de 1 a 4 para a **importância** que cada estratégia / recurso didático presente na tabela abaixo tem, em sua concepção, no processo de ensino-aprendizagem da Física trabalhada em nível de escola básica.*

Estratégia Didático-Pedagógica	Pouquíssima (A)	Pouca (B)	Muita (C)	Muitíssima (D)	% (A+B)	% (C+D)
Abordagem CTS	0	7	27	31	10,8	89,2
Aproximação arte e ciência	10	17	22	16	41,5	58,5
Contextualização ("Física do cotidiano")	1	3	23	38	6,2	93,8
Experimentação	1	9	28	27	15,4	84,6
História e filosofia da ciência	2	12	32	19	21,5	78,5
Interdisciplinaridade	4	16	26	19	30,8	69,2
Resolução de problemas	2	13	30	20	23,1	76,9
Tecnologias da informação e comunicação (TIC)	5	22	30	8	41,5	58,5
Visitas a museus de Ciência	6	20	24	15	40,0	60,0

Tabela 1: Número de respostas oferecidas pelos licenciandos da **USP** para o valor didático em aulas de Física na Escola Básica atribuído às estratégias didáticas apresentadas. %(A+B) e %(C+D) são, respectivamente, os percentuais referentes a baixos e a elevados valores didáticos atribuídos pelos licenciandos a essas estratégias, em relação ao total de respondentes da USP (N = 65).

Estratégia Didático-Pedagógica	Pouquíssima (A)	Pouca (B)	Muita (C)	Muitíssima (D)	% (A+B)	% (C+D)
Abordagem CTS	1	7	31	44	9,6	90,7
Aproximação arte e ciência	9	19	40	15	33,7	66,3
Contextualização ("Física do cotidiano")	3	11	18	51	16,9	83,1
Experimentação	2	11	24	46	15,7	84,3
História e filosofia da ciência	3	16	40	24	22,9	77,1
Interdisciplinaridade	1	15	40	27	19,3	80,7
Resolução de problemas	1	22	29	31	27,7	72,3
Tecnologias da informação e comunicação (TIC)	8	31	27	17	47,0	53,0
Visitas a museus de Ciência	14	20	36	13	41,0	59,0

Tabela 2: Número de respostas oferecidas pelos licenciandos do **IFSP-SP** para o valor didático em aulas de Física na Escola Básica atribuído às estratégias didáticas apresentadas. %(A+B) e %(C+D) são, respectivamente, os percentuais referentes a baixos e a elevados valores didáticos atribuídos pelos licenciandos a essas estratégias, em relação ao total de respondentes do IFSP-SP (N = 83).

Estratégia Didático-Pedagógica	Pouquíssima (A)	Pouca (B)	Muita (C)	Muitíssima (D)	% (A+B)	% (C+D)
Abordagem CTS	1	14	58	75	10,1	89,9
Aproximação arte e ciência	19	36	62	31	37,2	62,8
Contextualização ("Física do cotidiano")	4	14	41	89	12,2	87,8
Experimentação	3	20	52	73	15,5	84,5
História e filosofia da ciência	5	28	72	43	22,3	77,7
Interdisciplinaridade	5	31	66	46	24,3	75,7
Resolução de problemas	3	35	59	51	25,7	74,3
Tecnologias da informação e comunicação (TIC)	13	53	57	25	42,3	57,7
Visitas a museus de Ciência	20	40	60	28	40,5	59,5

Tabela 3: Número de respostas oferecidas pelo **TOTAL** de participantes para o valor didático em aulas de Física na Escola Básica atribuído às estratégias didáticas apresentadas. %(A+B) e %(C+D) são, respectivamente, os percentuais referentes a baixos e a elevados valores didáticos atribuídos pelos licenciandos a essas estratégias, em relação ao total de respondentes (N = 148).

2ª. QUESTÃO: Considerando as estratégias e recursos didáticos já destacados, utilize a legenda oferecida nesta questão e atribua, marcando com um "X", conceitos de 1 a

4 a cada uma delas de acordo com sua opinião acerca do **quanto você se sente preparado** para utilizar tal estratégia / recurso didático na formulação das ações didático-pedagógicas norteadoras das **suas** aulas, sejam elas atuais ou futuras.

Estratégia Didático-Pedagógica	Pouquíssimo (A)	Pouco (B)	Muito (C)	Muitíssimo (D)	% (A+B)	% (C+D)
Abordagem CTS	8	25	26	6	50,8	49,2
Aproximação arte e ciência	27	26	8	4	81,5	18,5
Contextualização ("Física do cotidiano")	3	20	27	15	35,4	64,6
Experimentação	6	26	21	12	49,2	50,8
História e filosofia da ciência	11	28	19	7	60,0	40,0
Interdisciplinaridade	8	34	17	6	64,6	35,4
Resolução de problemas	1	11	33	20	18,5	81,5
Tecnologias da informação e comunicação (TIC)	15	23	19	8	58,5	41,5
Visitas a museus de Ciência	15	22	13	15	56,9	43,1

Tabela 4: Número de respostas oferecidas pelos licenciandos da **USP** ao nível pessoal de preparação para o uso em aulas de Física na Escola Básica atribuído às estratégias apresentadas. %(A+B) e %(C+D) são, respectivamente, os percentuais referentes a baixos e a elevados níveis de preparo atribuídos pelos licenciandos a essas estratégias, em relação ao total de respondentes da USP (N = 65).

Estratégia Didático-Pedagógica	Pouquíssimo (A)	Pouco (B)	Muito (C)	Muitíssimo (D)	% (A+B)	% (C+D)
Abordagem CTS	10	32	30	11	50,6	49,4
Aproximação arte e ciência	26	31	21	5	68,7	31,3
Contextualização ("Física do Cotidiano")	6	22	37	18	33,7	66,3
Experimentação	6	24	35	18	36,1	63,9
História e filosofia da ciência	10	32	35	6	50,6	49,4
Interdisciplinaridade	12	35	33	3	56,6	43,4
Resolução de problemas	6	20	42	15	31,3	68,7
Tecnologias da informação e comunicação (TIC)	23	36	18	6	71,1	28,9
Visitas a museus de Ciência	14	35	28	6	59,0	41,0

Tabela 5: Número de respostas oferecidas pelos licenciandos do **IFSP-SP** ao nível pessoal de preparação para o uso em aulas de Física na Escola Básica atribuído às estratégias apresentadas. %(A+B) e %(C+D) são, respectivamente, os percentuais referentes a baixos e a elevados níveis de preparo atribuídos pelos licenciandos a essas estratégias, em relação ao total de respondentes do IFSP-SP (N = 83).

Estratégia Didático-Pedagógica	Pouquíssimo (A)	Pouco (B)	Muito (C)	Muitíssimo (D)	% (A+B)	% (C+D)
Abordagem CTS	18	57	56	17	50,7	49,3
Aproximação arte e ciência	53	57	29	9	74,3	25,7
Contextualização ("Física do cotidiano")	9	42	64	33	34,5	65,5
Experimentação	12	50	56	30	41,9	58,1
História e filosofia da ciência	21	60	54	13	54,7	45,3
Interdisciplinaridade	20	69	50	9	60,1	39,9
Resolução de problemas	7	31	75	35	25,7	74,3
Tecnologias da informação e comunicação (TIC)	38	59	37	14	65,5	34,5
Visitas a museus de Ciência	29	57	41	21	58,1	41,9

Tabela 6: Número de respostas oferecidas pelo **TOTAL** de participantes ao nível pessoal de preparação para o uso em aulas de Física na Escola Básica atribuído às estratégias apresentadas. %(A+B) e %(C+D) são, respectivamente, os percentuais referentes a baixos e a elevados níveis de preparo atribuídos pelos licenciandos a essas estratégias, em relação ao total de respondentes (N = 148).

3ª. QUESTÃO: Se na **1ª questão** você atribuiu conceitos 3 ou 4 para a importância da HFC como estratégia didático-pedagógica no ensino da Física, assinale com um “X” no quadro abaixo TODOS os fatores que considera como motivadores dessa aproximação.

Aspectos positivos do trabalho com a HFC nas aulas de Física da Escola Básica	Totais	%
Contribui para desmitificar a ciência e oferece uma visão crítica sobre seu funcionamento ao apresentar também os erros dos grandes pensadores	45	88,2
Favorece a contextualização do conteúdo científico trabalhado	41	80,4
Apresenta a dimensão cultural da ciência, evidenciando sua importância junto à sociedade e a necessidade de se propor ações interdisciplinares	39	76,5
Evidencia o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia ao longo da história	34	66,7
Destaca as semelhanças entre as ideias e as concepções (alternativas) dos alunos	34	66,7
Ajuda a despertar a curiosidade e o interesse dos alunos pela ciência, tornando sua aprendizagem mais prazerosa	32	62,7
Estimula o desenvolvimento e a prática da leitura e o hábito da pesquisa junto aos alunos	29	56,9
Facilita o aprendizado das leis, princípios e conceitos ao apresentar suas origens	29	56,9
Contribui para o conhecimento do estágio atual da ciência praticada no país, favorecendo a prática de uma cidadania crítica, ativa e transformadora	20	39,2

Tabela 7: Valor didático atribuído pelos respondentes da **USP** para cada estratégia apresentada na composição de aulas de Física na Escola Básica, em números absolutos e em termos percentuais(%). Os valores estão dispostos em ordem decrescente.

Aspectos positivos do trabalho com a HFC nas aulas de Física da Escola Básica	Totais	%
Contribui para desmitificar a ciência e oferece uma visão crítica sobre seu funcionamento ao apresentar também os erros dos grandes pensadores	61	89,7
Favorece a contextualização do conteúdo científico trabalhado	59	86,7
Ajuda a despertar a curiosidade e o interesse dos alunos pela ciência, tornando sua aprendizagem mais prazerosa	57	83,8
Apresenta a dimensão cultural da ciência, evidenciando sua importância junto à sociedade e a necessidade de se propor ações interdisciplinares	54	79,4
Facilita o aprendizado das leis, princípios e conceitos ao apresentar suas origens	53	78,9
Estimula o desenvolvimento e a prática da leitura e o hábito da pesquisa junto aos alunos	51	75,0
Destaca as semelhanças entre as ideias e as concepções (alternativas) dos alunos	49	72,1
Evidencia o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia ao longo da história	49	72,1
Contribui para o conhecimento do estágio atual da ciência praticada no país, favorecendo a prática de uma cidadania crítica, ativa e transformadora	38	55,9

Tabela 8: Valor didático atribuído pelos respondentes do **IFSP-SP** para cada estratégia apresentada na composição de aulas de Física na Escola Básica, em números absolutos e em termos percentuais (%). Os valores estão dispostos em ordem decrescente.

Aspectos positivos do trabalho com a HFC nas aulas de Física da Escola Básica	Totais	%
Contribui para desmitificar a ciência e oferece uma visão crítica sobre seu funcionamento ao	106	89,1

apresentar também os erros dos grandes pensadores		
Favorece a contextualização do conteúdo científico trabalhado	100	84,0
Apresenta a dimensão cultural da ciência, evidenciando sua importância junto à sociedade e a necessidade de se propor ações interdisciplinares	93	78,2
Ajuda a despertar a curiosidade e o interesse dos alunos pela ciência, tornando sua aprendizagem mais prazerosa	89	74,8
Destaca as semelhanças entre as ideias e as concepções (alternativas) dos alunos	83	69,7
Evidencia o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia ao longo da história	83	69,7
Facilita o aprendizado das leis, princípios e conceitos ao apresentar suas origens	82	68,9
Estimula o desenvolvimento e a prática da leitura e o hábito da pesquisa junto aos alunos	80	67,2
Contribui para o conhecimento do estágio atual da ciência praticada no país, favorecendo a prática de uma cidadania crítica, ativa e transformadora	58	48,7

Tabela 8: Valor didático atribuído pelo **TOTAL** de respondentes para cada estratégia apresentada na composição de aulas de Física em nível de Escola Básica, em números absolutos e em termos percentuais (%). Os valores estão dispostos em ordem decrescente.

4ª. QUESTÃO: Se na **2ª questão** você atribuiu conceitos 1 ou 2 para suas condições atuais de utilizar a HFC em suas aulas, assinale com um “X” no quadro abaixo TODOS os fatores ali presentes que você considera justificarem / reforçarem essa realidade.

Fatores que dificultam o trabalho com a HFC nas aulas de Física da Escola Básica	Totais	%
Necessidade de tempo didático para o trabalho específico com a HFC, considerando que o tempo disponível não é suficiente sequer para trabalhar os respectivos conteúdos científicos	26	66,7
Desconhecimento de materiais alternativos com vocação didática (vídeos, paradidáticos, artigos científicos etc.) abordando o uso da HFC no Ensino de Física	24	61,5
Escassez de livros didáticos que abordam a HFC de forma sistemática	23	60,0
Desejável conhecimento de aspectos históricos, filosóficos e sociológicos relacionados ao conteúdo científico abordado	20	51,3
Necessidade do uso de fontes primárias (textos de cientistas do passado) na preparação de materiais didáticos pelo docente	19	48,7
Baixo interesse e/ou ausência de hábitos de leitura por parte dos alunos, gerando dificuldades no trabalho com os textos necessários ao desenvolvimento do conteúdo histórico	18	46,2
Falta de uma cobrança efetiva dos conhecimentos próprios da HFC nas provas dos vestibulares, como é o caso do ENEM	16	41,0
Dificuldade para analisar os episódios históricos estudados no contexto de época a que pertencem, evitando promover abordagens anacrônicas	15	38,5
Dificuldade em romper com uma cultura que insiste em "genializar" personalidades da HFC, superestimando a capacidade da ciência em resolver problemas dos mais diversos níveis	12	30,8

Tabela 10: Fatores identificados, dentre os oferecidos, pelos licenciandos da **USP** como obstáculos para a utilização da História da Ciência enquanto recurso didático nas aulas de Física na Escola Básica, em números absolutos e em termos percentuais (%). Os valores estão dispostos em ordem decrescente.

Fatores que dificultam o trabalho com a HFC nas aulas de Física da Escola Básica	Totais	%
Necessidade de tempo didático para o trabalho específico com a HFC, considerando que o tempo disponível não é suficiente sequer para trabalhar os respectivos conteúdos científicos	34	80,1

Baixo interesse e/ou ausência de hábitos de leitura por parte dos alunos, gerando dificuldades no trabalho com os textos necessários ao desenvolvimento do conteúdo histórico	33	78,6
Falta de uma cobrança efetiva dos conhecimentos próprios da HFC nas provas dos vestibulares, como é o caso do ENEM	33	78,6
Desconhecimento de materiais alternativos com vocação didática (vídeos, paradidáticos, artigos científicos etc.) abordando o uso da HFC no Ensino de Física	32	76,1
Desejável conhecimento de aspectos históricos, filosóficos e sociológicos relacionados ao conteúdo científico abordado	32	76,1
Escassez de livros didáticos que abordam a HFC de forma sistemática	31	73,8
Dificuldade para analisar os episódios históricos estudados no contexto de época a que pertencem, evitando promover abordagens anacrônicas	28	66,7
Dificuldade em romper com uma cultura que insiste em "genializar" personalidades da HFC, superestimando a capacidade da ciência em resolver problemas dos mais diversos níveis	26	61,9
Necessidade do uso de fontes primárias (textos de cientistas do passado) na preparação de materiais didáticos pelo docente	25	59,5

Tabela 11: Fatores identificados, dentre os oferecidos, pelos licenciandos da **IFSP-SP** como obstáculos para a utilização da História da Ciência enquanto recurso didático nas aulas de Física na Escola Básica, em números absolutos e em termos percentuais (%). Os valores estão dispostos em ordem decrescente.

Fatores que dificultam o trabalho com a HFC nas aulas de Física da Escola Básica	Totais	%
Necessidade de tempo didático para o trabalho específico com a HFC, considerando que o tempo disponível não é suficiente sequer para trabalhar os respectivos conteúdos científicos	60	74,1
Desconhecimento de materiais alternativos com vocação didática (vídeos, paradidáticos, artigos científicos etc.) abordando o uso da HFC no Ensino de Física	56	69,1
Escassez de livros didáticos que abordam a HFC de forma sistemática	54	66,7
Desejável conhecimento de aspectos históricos, filosóficos e sociológicos relacionados ao conteúdo científico abordado	52	64,2
Baixo interesse e/ou ausência de hábitos de leitura por parte dos alunos, gerando dificuldades no trabalho com os textos necessários ao desenvolvimento do conteúdo histórico	51	63,0
Falta de uma cobrança efetiva dos conhecimentos próprios da HFC nas provas dos vestibulares, como é o caso do ENEM	49	60,5
Necessidade do uso de fontes primárias (textos de cientistas do passado) na preparação de materiais didáticos pelo docente	44	54,3
Dificuldade para analisar os episódios históricos estudados no contexto de época a que pertencem, evitando promover abordagens anacrônicas	43	53,1
Dificuldade em romper com uma cultura que insiste em "genializar" personalidades da HFC, superestimando a capacidade da ciência em resolver problemas dos mais diversos níveis	38	46,7

Tabela 12: Fatores identificados, dentre os oferecidos, pelo **TOTAL** de respondentes como obstáculos para a utilização da História da Ciência enquanto recurso didático nas aulas de Física na Escola Básica, em números absolutos e em termos percentuais (%). Os valores estão dispostos em ordem decrescente.

Respostas oferecidas para as questões 1 e 2 em função do estágio de formação

✓ QUESTÃO 1 (Valor didático da HFC)

Disciplinas cursadas	Pouquíssimo (A)	Pouco (B)	Muito (C)	Muitíssimo (D)	% (A+B)	% (C+D)
Menos de 25%	0	0	1	4	0	100,0
Entre 25% e 50%	1	3	2	4	40,0	60,0

Mais de 50 % e menos de 75%	0	5	17	5	18,5	81,5
Acima de 75%	1	4	11	7	22,7	77,3

Tabela 13: Alunos da **USP** respondentes da 1ª. questão, separados pelo percentual de disciplinas cursadas.

Disciplinas cursadas	Pouquíssimo (A)	Pouco (B)	Muito (C)	Muitíssimo (D)	% (A+B)	% (C+D)
Menos de 25%	1	8	18	6	29,4	70,6
Entre 25% e 50%	0	2	5	2	22,2	77,8
Mais de 50 % e menos de 75%	0	4	13	6	17,4	82,6
Acima de 75%	2	2	6	8	22,2	77,8

Tabela 14: Alunos do **IFSP-SP** respondentes da 1ª. questão, separados pelo percentual de disciplinas cursadas.

✓ **QUESTÃO 2** (Nível de preparo para o uso didático da HFC)

Disciplinas cursadas	Pouquíssimo (A)	Pouco (B)	Muito (C)	Muitíssimo (D)	% (A+B)	% (C+D)
Menos de 25%	0	3	2	0	60,0	40,0
Entre 25% e 50%	0	6	2	2	60,0	40,0
Mais de 50 % e menos de 75%	7	11	9	1	64,3	35,7
Acima de 75%	4	11	6	2	65,2	34,3

Tabela 15: Alunos da **USP** respondentes da 2ª. questão, separados pelo percentual de disciplinas cursadas.

Disciplinas cursadas	Pouquíssimo (A)	Pouco (B)	Muito (C)	Muitíssimo (D)	% (A+B)	% (C+D)
Menos de 25%	9	16	9	1	71,4	28,6
Entre 25% e 50%	1	4	4	0	55,6	44,4
Mais de 50 % e menos de 75%	2	11	9	1	56,5	43,5
Acima de 75%	0	5	11	1	29,4	70,6

Tabela 16: Alunos do IFSP-SP respondentes da 2ª. questão, separados pelo percentual de disciplinas cursadas.

Concluindo a tabulação dos dados em conformidade com o objetivo original de aplicação do QD, o cruzamento dos dados das tabelas 3 e 6, somado a uma leitura mais pormenorizada das respostas oferecidas para as questões 1 e 2, oferece ao menos dois importantes resultados, a saber:

- I) Dos 115 licenciandos que atribuíram **muita ou muitíssima** importância à HFC enquanto recurso didático, 55 declararam-se **pouco ou pouquíssimo** preparados para utilizá-la em suas ações didáticas; e
- II) Dos 33 licenciandos que atribuíram **pouca ou pouquíssima** importância à HFC enquanto recurso didático, 32 deles também se declararam **pouco ou pouquíssimo** preparados para utilizá-la em suas ações didáticas.

2.1.3 – Análise das respostas obtidas: justificativas, principais indicativos e prescrições

A opção pelos questionários, em detrimento a entrevistas, por exemplo, foi em grande parte motivada pela agilidade na aplicação desse instrumento, reforçada pela praticidade encontrada pelos respondentes ao se depararem com um conjunto de perguntas e respostas simples e bem estruturadas. A construção das tabelas e gráficos apresentados na seção anterior favoreceu a análise dos dados obtidos, permitindo alcançar o objetivo maior desse instrumento: a identificação dos sujeitos de pesquisa mais adequados para participarem da próxima etapa do trabalho.

Os ganhos proporcionados por esse tipo de questionário são destacados na literatura especializada, como é o caso de Cohen e colaboradores (2005), que declaram:

A vantagem dos questionários em relação às entrevistas, por exemplo, são: tendem a ser mais confiáveis, porque são anônimos, encorajando maior honestidade (contudo, obviamente, desonestidade e falsificação podem não ser possíveis de se descobrir em um questionário); são mais econômicos que entrevistas em termos de tempo e dinheiro; e há a possibilidade de serem encaminhados via correio [eletrônico, no caso]. [...]

É necessário, para tanto, direcionar suas perguntas e refinar seus conteúdos, redação, extensão etc., de modo a adequá-lo ao seu público alvo.

Um elemento central, considerando-se a confiabilidade e a validade de um questionário de pesquisa, é a amostragem. Uma amostragem sem representatividade, enviesada, muito reduzida ou imensa, pode facilmente distorcer os dados e, portanto, no caso de amostras muito pequenas, inviabilizar análises estatísticas (COHEN; MANION; MORRISON, 2005, p. 128-129, *tradução minha*).

Com base na afirmação presente nesse último parágrafo, aumentei significativamente o número de participantes desta etapa da pesquisa (de 59 para 148), tendo como referência o questionário-piloto descrito em Schmiedecke e Tadeu Neto (2015). Contudo, focado no mesmo público-alvo, segui trabalhando com sujeitos pertencentes unicamente às duas IES escolhidas.

Conforme já mencionado, o caráter principal deste trabalho não é quantitativo; assim sendo, aproveito-me da definição da chamada *validade de conteúdo* de uma pesquisa, presente em Moreira (2011), na qual considero estarem devidamente enquadrados os principais procedimentos que conduziram minha investigação. Segundo esse autor,

Um instrumento tem validade de conteúdo na medida em que se constitui em uma amostra representativa do conteúdo (conhecimentos e comportamentos) que está sendo medido (VIANNA, 1985 *apud* MOREIRA, 2011, p. 22).

Nesta particular investigação, os conhecimentos em questão relacionam-se ao processo de formação dos docentes. No momento em que são colocados em contato com nove possibilidades de estratégias didáticas, esses profissionais em formação têm a possibilidade de cotejar os principais aspectos característicos de cada um desses recursos, podendo constatar o que, realmente, foi assimilado durante sua graduação e continuou a fazer-lhes sentido. Caso ainda que não tenham entrado em contato com algumas dessas abordagens, os licenciandos podem oferecer respostas baseadas em suas pré-concepções enquanto discentes dos diversos cursos de ciências por eles já concluídos.

No contexto de uma pesquisa em educação em ciências, a História e a Filosofia da Ciência deixam de ser exclusivamente objetos de conhecimento em si para, no limite, configurarem-se em importantes ferramentas didáticas. Além da erudição e do nível de criticidade passíveis de serem promovidos junto aos futuros docentes, considero igualmente importante que esses sujeitos saibam selecionar e utilizar, em sua prática profissional, os principais preceitos preconizados pela HFC.

Desse modo, a avaliação dos licenciandos a respeito das estratégias didáticas apresentadas – visando ao mesmo tempo a atribuição de valor didático e a manifestação do quanto se sentem preparados para se utilizarem das mesmas – permite a identificação do comportamento daquela particular amostra de respondentes em face do que lhes foi oferecido durante a graduação.

Ou seja, informações balizadas pelo julgamento desses diferentes sujeitos de pesquisa – com origens, propósitos, necessidades, formações e percepções distintas – apresentam elementos capazes de asseverar ao QD um nível de validade compatível com os propósitos desta investigação.

Nesse sentido, a simples identificação dos sujeitos efetivamente aptos a prosseguirem participando das etapas posteriores desta pesquisa seria suficiente para justificar a aplicação do QD. Porém, aproveitando o espaço cedido pelos colegas professores que o aplicaram e, principalmente, a boa vontade dos licenciandos em participar da pesquisa, inseri duas outras questões destinadas a situarem os participantes acerca do meu objeto de pesquisa, na tentativa de antecipar e, em especial, avaliar os méritos e as dificuldades mais comumente atribuídas ao trabalho com a HC no Ensino de Física (MARTINS, 2007; FORATO, 2009). Essa foi a maneira de tentar valorizar e corroborar os resultados de importantes pesquisas já realizadas nesse campo.

Isto posto, passo a analisar as respostas oferecidas para cada questão, priorizando os resultados relacionados ao total de respondentes e procurando, ainda,

promover inferências e conjecturas advindas de algumas particularidades do currículo e a organização da licenciatura em Física do IFSP-SP.

Considerando as 9 possibilidades de recursos oferecidas aos licenciandos, os resultados organizados na tabela 3 chamam a atenção para o fato de a HFC ocupar a 4ª. colocação, com cerca de 78% dos pesquisados destacando seu efetivo valor didático.

Esse dado, que corrobora os resultados da pesquisa anteriormente apresentada por Schmiedecke e Tadeu Netto (2015), reforça ser significativo o interesse dos professores em formação em se utilizarem da HC em sua prática profissional. Por outro lado, a discordância de quase um quarto dos respondentes quanto à importância da HC como recurso didático sugere a fragilidade de pesquisas que tomam como ponto de partida perguntas inquirindo a validade, ou não, de um particular recurso didático investigado. Isto é, questionar isoladamente se o licenciando considera importante uma determinada estratégia didática parece induzir a uma elevação acrítica da quantidade de respostas afirmativas, principalmente quando o momento de aplicação da pesquisa ocorre no contexto de uma disciplina voltada para o trabalho específico com aquele recurso.

Por exemplo, o pioneirismo e o elevado nível de detalhamento ao descrever a metodologia utilizada conferiu a Martins (2007) o devido reconhecimento como um trabalho de notório valor na área de Ensino de Ciências, sendo frequentemente citado devido aos indicativos que oferece acerca dos méritos e das dificuldades relacionados às tentativas de apropriação da HFC pelos professores de ciências em suas aulas no ensino médio. Ainda que o conjunto de sujeitos que participaram daquela pesquisa não seja composto somente por licenciandos – no caso, além da maioria absoluta composta por alunos de licenciatura em Física, participaram adicionalmente estudantes do 1º. semestre da pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais e, também, professores (quase todos de Física) que frequentavam um curso de extensão especificamente abordando a HFC no Ensino – há importantes semelhanças entre os participantes dessas duas pesquisas. Martins (2007) destaca não ter sido necessária a discussão em separado das respostas de cada um daqueles grupos, o que se justifica pela acomodação das respostas oferecidas pelos alunos de pós-graduação e, também, do curso de extensão, na categorização efetuada para as respostas dadas exclusivamente pelos licenciandos (MARTINS, 2007, p. 118).

Tomando como referência os resultados da aplicação do questionário apresentado na presente investigação, reforço minha crença na indução promovida em Martins (2007) – mesmo que sem qualquer intencionalidade – junto aos sujeitos

pesquisados, no sentido de direcionar suas respostas para uma indicação positiva ao que lhes foi perguntado. Em outras palavras, no momento em que o autor opta por iniciar um estudo empírico declarando de antemão o mote do trabalho (a HFC), as questões “Você se interessa pelo tema?” e “Você acha importante que elementos da HFC estejam presentes no ensino médio?” dificilmente receberiam respostas negativas. Observou-se que nenhum dos participantes respondeu “não” às duas questões mencionadas, ainda que menos de 50% deles tenham indicado já terem tomado algum contato formal com estudos envolvendo a HFC (MARTINS 2007, p. 118 e 119).

Nesse questionário, optei por não inquirir os licenciandos a respeito de terem, ou não, entrado em contato com a HFC nas disciplinas já cursadas; para atenuar esta momentânea lacuna, e permitir uma análise um pouco mais apurada das respostas recebidas, solicitei aos licenciandos que indicassem o percentual aproximado de disciplinas por eles já cursadas.

Nesse sentido, e considerando as particularidades das amostras que compõem cada grupo de licenciandos em relação ao respectivo percentual já cursado, os gráficos referentes às tabelas 13 e 14 parecem evidenciar a baixa influência da sucessão de semestres e anos letivos no nível de importância atribuído à HFC por esses estudantes. Em outras palavras, o passar dos anos de graduação não se refletiu em proporcional elevação ou decréscimo no valor didático atribuído à HFC pelos estudantes da USP e do IFSP-SP.

Uma interpretação possível de ser feita a partir desse resultado é a falta de clareza e significado, para os licenciandos, da presença da HFC nas disciplinas que compõe o curso de licenciatura em Física oferecido por essas IES; por conseguinte, as opiniões acerca da HFC tenderiam a se manter, à margem daquilo ocorrido durante o processo de formação desses profissionais.

Prosseguindo, a leitura mais detalhada dos números da tabela 3 não pode ser realizada sem que seja efetuada uma comparação entre as diversas estratégias didáticas oferecidas, ainda que o objetivo original do questionário tenha sido outro. Ou seja, minha busca focalizou somente os sujeitos mais adequados para prosseguirem nesta pesquisa; contudo, constatar que a HFC não se configura em uma estratégia didático-pedagógica ocupando espaço privilegiado na preferência dos professores em formação reforçou minha crença na necessidade de, ao propor formas de utilizá-la nas aulas de Física da Escola Básica, associá-la aos demais recursos disponíveis, com valores didáticos mais bem estabelecidos junto ao imaginário dos licenciandos, casos da Experimentação, da Abordagem CTS (A) e da Contextualização.

A tabela 6 parece apenas confirmar a suspeita de que algo precisa ser modificado nos currículos das licenciaturas em Física comprometidos com a apresentação e a instrumentalização dos futuros professores acerca da HC, pois menos da metade dos respondentes (45,3%) ao questionário declarou-se apta à utilização da HC em suas aulas, evidenciando a distância apartando teoria e prática nesse campo de estudos.

Outro ponto a ser destacado é que, dos 33 respondentes que não identificaram na HFC expressiva importância enquanto recurso didático, 32 deles (97%) declararam não estar preparados suficientemente para trabalhar com ela no contexto didático. Isso sinaliza haver uma dependência entre a maneira como se dá a formação dos licenciandos com a empatia por eles desenvolvida em relação às abordagens que lhes são apresentadas. Fato semelhante parece ocorrer com as demais estratégias didático-pedagógicas, acerca das quais os respondentes se declaram ainda menos preparados para utilizá-las.

Dentre elas, merecem especial destaque as TIC – recurso que só recentemente passou a ser explorado de maneira sistemática no meio acadêmico – e a aproximação Arte e Ciência, que requer, tal qual a HFC, a compilação de conhecimentos advindos de distintas áreas do conhecimento, pouco sistematizados nos materiais didáticos mais acessíveis aos professores.

Retornando à HFC, uma comparação entre os dados presentes nas tabelas 4 e 5 evidencia ser maior o percentual de alunos do IFSP-SP que se consideram preparados para utilizarem esse recurso didático em relação aos alunos da USP (49,4% contra 40,0%), ainda que ambos os resultados possam ser considerados relativamente baixos. Por conhecer muitas das especificidades do currículo da licenciatura em Física do IFSP-SP, considero não ser casual a diferença verificada entre as respostas dadas para a 2ª. questão pelos licenciandos das duas IES consideradas. No caso do IFSP-SP, o foco da única disciplina comprometida formalmente com o trabalho com a HFC é instrumentalizador, não havendo o compromisso com a apresentação de uma quantidade muito grande de episódios históricos. No caso, a principal preocupação concentra-se no aprofundamento das discussões destinadas a preparar os licenciandos para, em situações didáticas, utilizarem os episódios selecionados.

Com relação aos dados compilados nas tabelas de 7 a 9 (referentes aos méritos e possíveis ganhos associados aos usos da HFC no ensino), há uma confirmação daquilo que é explorado e destacado na literatura especializada envolvendo essa temática, indo ao encontro, por exemplo, das principais conclusões e

sínteses tecidas com rigor e precisão por Martins (2007). Majoritariamente, os licenciandos atribuem à HFC a capacidade de, nas aulas de Física: propor e dar sustentação a discussões baseadas na apresentação dos erros dos grandes cientistas; viabilizar a contextualização dos conteúdos teóricos; e evidenciar as inter-relações existentes entre os constructos da ciência e os anseios e as necessidades da sociedade como um todo.

Se há certo consenso envolvendo os méritos dos usos da HFC no ensino, o mesmo não ocorre em relação aos motivos destacados pelos licenciandos da USP e do IFSP-SP como limitadores para a efetivação dessa prática, como mostram os distintos percentuais apresentados nas tabelas 10 e 11. De maneira pontual, há concordância entre os licenciandos das duas IES no que se refere à necessidade de se dispor de um maior tempo didático para se efetivar a presença da HFC nas aulas de Física.

Contudo, enquanto os respondentes da USP indicam, na sequência, o desconhecimento e/ou a escassez de materiais de cunho didático como principais obstáculos, os respondentes do IFSP-SP apontam problemas relacionados à ausência de hábitos de leitura dos seus alunos e, também, à falta de cobrança dos conhecimentos da HFC nos exames vestibulares como importantes limitadores do estabelecimento dessa aproximação.

Como explorar as minúcias e particularidades dos currículos oferecidos por essas duas IES envolveria uma discussão que foge ao escopo deste trabalho, limite-me a atribuir essa diferença aos distintos interesses desses dois grupos de licenciandos no que tange às suas ações profissionais (a continuidade em cursos de pós-graduação, voltados para a pesquisa, *versus* a efetiva prática docente na escola pública) e, também, às diferentes formas de ingresso que tais sujeitos foram submetidos para adentrarem à USP e ao IFSP-SP (Fuvest *versus* ENEM, respectivamente).

Por fim, os 55 respondentes do QD que atribuíram elevado valor didático à HFC sem, todavia, se sentirem suficientemente preparados para trabalharem com ela em suas aulas passam a ser o foco de atenção dos próximos capítulos deste trabalho. Em particular, o próximo capítulo busca abrir caminho para a proposição do trabalho com episódios da história da ciência nacional em situações didáticas na Escola Básica.

A próxima seção apresenta e detalha um questionário adicional aplicado com o intuito de aprofundar aspectos relacionados à formação do licenciando, os quais

culminaram em sua atual dificuldade para se apropriar da HC enquanto recurso didático.

2.2 – Questionário Investigativo (QI): História da Ciência e o processo de formação dos licenciandos em Física

2.2.1 – Critérios utilizados na formulação do QI

Uma vez identificados os 55 respondentes adequados aos propósitos desta investigação, contatei-os por e-mail, convidando-os para a continuidade da pesquisa. Além de um breve esclarecimento, acerca das motivações do trabalho, o e-mail continha um *link* para o Questionário Investigativo (QI) (Apêndice B), elaborado na plataforma *Google Docs*. A escolha por esse caminho se deu em função da grande praticidade e da fácil acessibilidade dessa ferramenta, além do fato da organização das respostas ser automaticamente oferecida na forma de uma planilha do *Excel*.

O QI era composto por cinco questões, sendo quatro objetivas (três das quais admitindo a possibilidade de se acrescentar outra resposta às previamente oferecidas) e uma semiaberta (solicitando a complementação da resposta afirmativa, caso essa alternativa fosse indicada pelo respondente). A íntegra dessas questões (em *itálico*) e as finalidades por trás de suas formulações são detalhadas a seguir:

1) Quais disciplinas por você cursadas na licenciatura claramente trabalharam com a HC?

- *Teóricas. Quais?*
- *Oficinas de Projetos. Quais?*
- *Metodologia de Ensino. Quais?*
- *Estágio Supervisionado. Quais?*
- *Outras. Quais?*
- *Nenhuma.*

Finalidade: Verificar se a HC foi trabalhada em algum momento do curso de graduação, além de identificar se houve maior concentração dessa presença em disciplinas teóricas ou práticas.

2) Quais as principais características dessas aulas?

- *Aulas expositivas com ações concentradas na figura do professor da disciplina.*
- *Oferecimento de informações gerais e sintéticas (datas, nomes, fatos – “invenções” / “descobertas”), constituindo um panorama geral sobre o*

período e/ou as personalidades da ciência trabalhadas, mas sem aprofundamento.

- *Proposição de estudos de caso, priorizando somente alguns assuntos, períodos e personalidades da ciência, em detrimento de abarcar todos episódios mais conhecidos e notórios da HC.*
- *Contextualização das ideias e fatos trabalhados em sua época e seu local de proposição.*
- *Trabalho com textos extraídos de fontes primárias e/ou secundárias para serem discutidos sistematicamente nas aulas.*
- *Apresentação de vídeos (filmes, documentários, séries de canais de TV sobre divulgação científica etc.) em sala de aula, seguidos por discussões.*
- *Apresentação de seminários, por parte dos alunos, de excertos / capítulos selecionados das fontes escolhidas pelo professor para nortear as discussões propostas em sala de aula.*
- *Elaboração de sequências de ensino de Física, unidades didáticas, planos de aula ou assemelhados utilizando a HC como estratégia didático-pedagógica.*
- *Proposição de trabalho de cunho interdisciplinar utilizando a HC em sintonia com as demais ações desenvolvidas.*
- *Outras. Quais?*

Finalidade: Identificar a forma pela qual a HC foi apresentada e trabalhada no curso de licenciatura. Em conformidade com a resposta dada para a questão anterior, busquei informações passíveis de caracterizar o excesso (ou a carência) de momentos dedicados à exposição de conteúdos teóricos, cotejando essa realidade com a existência, ou não, de um trabalho voltado à instrumentalização dos licenciandos acerca do uso desses conhecimentos em situações didáticas.

3) Dos fatores destacados no questionário diagnóstico (questão 4 do Apêndice A), destaque APENAS os dois (2) que você considera como mais difíceis de serem superados para a efetivação do trabalho com a História da Ciência (HC) nas suas aulas de Física na Escola Básica. Se considerar necessário, identifique e acrescente fatores adicionais na alternativa “Outros”.

- *Escassez de livros didáticos que abordam a HC de forma sistemática.*
- *Falta de uma cobrança efetiva dos conhecimentos próprios da HC nas provas vestibulares, como é o caso do ENEM.*

- *Desejável conhecimento de aspectos históricos, filosóficos e sociológicos relacionados ao conteúdo científico abordado.*
- *Necessidade do uso de fontes primárias (textos de cientistas do passado) na preparação de materiais didáticos pelo docente.*
- *Dificuldade para analisar os episódios históricos estudados no contexto de época a que pertencem, evitando promover abordagens anacrônicas.*
- *Desconhecimento de materiais alternativos com vocação didática (vídeos, paradidáticos, artigos científicos etc.) abordando o uso da HC no Ensino de Física.*
- *Baixo interesse e/ou ausência de hábitos de leitura por parte dos alunos, gerando dificuldades no trabalho com os textos necessários ao desenvolvimento do conteúdo histórico.*
- *Dificuldade em romper com uma cultura que insiste em “genializar” personalidades da HC, superestimando a capacidade da ciência em resolver problemas dos mais diversos níveis.*
- *Necessidade de tempo didático para o trabalho específico com a HC, considerando que o tempo disponível não é suficiente sequer para trabalhar os respectivos conteúdos científicos.*
- *Outros. Quais?*

Finalidade: Reforçar (ou contestar) os resultados do QD a respeito dos obstáculos ao trabalho com a HC em situações de sala de aula. Ao mesmo tempo, proporcionar aos licenciandos a possibilidade de estabelecerem uma correlação entre a resposta dada à questão anterior com os reflexos provocados nas dificuldades declaradas a respeito dos usos da HC.

4) Em que o curso deixou a desejar no sentido de efetivamente torná-lo(a) apto(a) a incorporar a História da Ciência em sua atual / futura prática docente?

- *Predominância de aulas teóricas concentradas em demasia na figura do professor, sem uma efetiva interlocução com os anseios e o cotidiano do licenciando.*
- *Carência de disciplinas focadas na formação geral do professor, capazes de oferecer um conjunto mais diversificado de estratégias didáticas ao licenciando.*
- *Baixo índice / Ausência de professores com formação específica em HC, aptos a proporem e sustentarem discussões que superassem a*

transmissão de informações meramente memorizadas e desconexas entre si.

- *Baixo índice / Ausência de disciplinas focando a instrumentalização do licenciando acerca dos critérios e conhecimentos historiográficos trabalhados, como em geral ocorre com outras estratégias didáticas (Experimentação, Abordagem CTS, Resolução de Problemas etc.).*
- *Omissão de discussões relacionadas à HC nas temáticas trabalhadas pelas disciplinas do chamado “núcleo duro”, focadas na apresentação sumária e acrítica de algoritmos e técnicas de resolução de problemas (“exercícios”) relacionados aos conteúdos científicos abordados.*
- *Outras. Quais?*

Finalidade: Identificar características do curso de graduação que podem ter determinado o baixo nível de preparação declarado pelos licenciandos quanto à utilização da HC em contextos didáticos. Caso esses sujeitos tenham, por si, estabelecido uma correlação entre os resultados das duas questões anteriores, o reconhecimento de tais características pode se mostrar ainda mais efetivo.

5) Houve no curso algum tipo de atenção dada à narrativa de fatos relacionados à HC feita no Brasil ou, então, por brasileiros no Exterior? Em caso afirmativo, cite os nomes das personalidades trabalhadas e/ou os episódios históricos abordados.

- *Não.*
- *Sim.*
 - ✓ *Personalidades:*
 - ✓ *Episódios:*

Finalidade: Uma premissa do presente trabalho é a importância dos episódios da CN no processo de formação do professor de Física interessado em trabalhar com a HC em sua prática docente. Portanto, considero um ponto de partida promissor a verificação daquilo que, de fato, ficou na lembrança dos licenciandos acerca do trabalho realizado pelas disciplinas por eles cursadas na graduação.

2.2.2 – Tabulação das respostas

Dos 55 licenciandos contatados por e-mail para responderem ao QI, 20 deles atenderam ao convite, sendo 7 da USP e 13 do IFSP-SP. Desse total, 50% já tinham cursado 75% ou mais das disciplinas, 25% tinham concluído entre 50% e 75% e outros 25% ainda estavam na primeira metade do curso.

Como forma de organizar o conjunto de respostas recebidas, as cinco questões são detalhadas nos quadros e tabelas apresentados a seguir. Quando representados

entre parênteses, os números indicam as respectivas quantidades de respostas oferecidas.

Quais disciplinas por você cursadas na licenciatura claramente trabalharam com a HC?	
Natureza da disciplina	Nomes das Disciplinas
Teóricas (16)	Ciência História e Cultura (8), Gravitação (6), Epistemologia e Ensino da Ciência (4), Tópicos da História da Física Moderna (3), Mecânica Clássica (2), Tópicos da História da Física Clássica (2), Eletricidade e Magnetismo I e II (2), Termodinâmica (2), Evolução dos Conceitos da Física (1), Mecânica dos Fluidos (1), Fundamentos da Mecânica, Complementos de Mecânica (2), Eletricidade Aplicada às Ciências (1)
Metodologia de Ensino (9)	Elementos e Estratégias do Ensino de Física (3), Fundamentos da Educação (2), Metodologia do Ensino de Física (2), Ensino e Divulgação da Ciência (1)
Oficina de Projetos (3)	Oficina de Projetos de Ensino (3), Projetos para o Ensino da Física (1)
Estágio Supervisionado (3)	Prática do Ensino da Física (3), Estágio (1)
Nenhuma (1)	
Outras (0)	

Quadro 3: Respostas dadas pelos licenciandos para a 1ª. questão do QI, referentes às disciplinas cursadas que trabalharam aspectos da HC.

Quais as principais características dessas aulas?	
Traço Característico	Número de Respostas
Trabalho com textos extraídos de fontes primárias e/ou secundárias para serem discutidos sistematicamente nas aulas	15
Apresentação de seminários, por parte dos alunos, de excertos / capítulos selecionados das fontes escolhidas pelo professor para nortear as discussões propostas em sala de aula	14
Elaboração de sequências de ensino de Física, unidades didáticas, planos de aula ou assemelhados utilizando a HC como estratégia didático-pedagógica	13
Aulas expositivas com ações concentradas na figura do professor da disciplina	11
Contextualização das ideias e fatos trabalhados em sua época e seu local de proposição	11
Apresentação de vídeos (filmes, documentários, séries de canais de TV sobre divulgação científica etc.) em sala de aula, seguidos por discussões	9
Proposição de estudos de caso, priorizando somente alguns assuntos, períodos e personalidades da ciência, em detrimento de abarcar todos episódios mais conhecidos e notórios da HC	8
Proposição de trabalho de cunho interdisciplinar utilizando a HC em sintonia com as demais ações desenvolvidas	5
Oferecimento de informações gerais e sintéticas (datas, nomes, fatos – “invenções” / “descobertas”), constituindo um panorama geral sobre o período e/ou as personalidades da ciência trabalhadas, mas sem aprofundamento	5

Outras	0
--------	---

Tabela 17: Respostas dadas pelos licenciandos para a 2ª. questão do QI, referentes às características das disciplinas indicadas na 1ª. questão.

Dos fatores destacados no questionário diagnóstico (questão 4 do Apêndice A), destaque APENAS os dois (2) que você considera como mais difíceis de serem superados para a efetivação do trabalho com a História da Ciência (HC) nas suas aulas de Física na Escola Básica. Se considerar necessário, identifique e acrescente fatores adicionais na alternativa “Outros”.	
Fatores	Número de Respostas
Necessidade de tempo didático para o trabalho específico com a HC, considerando que o tempo disponível não é suficiente sequer para trabalhar os respectivos conteúdos científicos	7
Falta de uma cobrança efetiva dos conhecimentos próprios da HC nas provas vestibulares, como é o caso do ENEM.	6
Baixo interesse e/ou ausência de hábitos de leitura por parte dos alunos, gerando dificuldades no trabalho com os textos necessários ao desenvolvimento do conteúdo histórico	6
Desconhecimento de materiais alternativos com vocação didática (vídeos, paradidáticos, artigos científicos etc.) abordando o uso da HC no Ensino de Física	6
Escassez de livros didáticos que abordam a HC de forma sistemática	5
Desejável conhecimento de aspectos históricos, filosóficos e sociológicos relacionados ao conteúdo científico abordado	4
Necessidade do uso de fontes primárias (textos de cientistas do passado) na preparação de materiais didáticos pelo docente	3
Dificuldade em romper com uma cultura que insiste em “genializar” personalidades da HC, superestimando a capacidade da ciência em resolver problemas dos mais diversos níveis	2
<u>Outros:</u> Condições de trabalho do professor	1
Dificuldade para analisar os episódios históricos estudados no contexto de época a que pertencem, evitando promover abordagens anacrônicas	0

Tabela 18: Respostas dadas pelos licenciandos para a 3ª. questão do QI, referentes aos fatores que se opõe à efetiva inserção da HC nas aulas de Física.

Em que o curso deixou a desejar no sentido de efetivamente torná-lo(a) apto(a) a incorporar a História da Ciência em sua atual / futura prática docente?
--

Lacunas	Número de Respostas
Baixo índice / Ausência de professores com formação específica em HC, aptos a proporem e sustentarem discussões que superassem a transmissão de informações meramente memorizadas e desconexas entre si	10
Baixo índice / Ausência de disciplinas focando a instrumentalização do licenciando acerca dos critérios e conhecimentos historiográficos trabalhados, como em geral ocorre com outras estratégias didáticas (Experimentação, Abordagem CTS, Resolução de Problemas etc.)	9
Omissão de discussões relacionadas à HC nas temáticas trabalhadas pelas disciplinas do chamado “núcleo duro”, focadas na apresentação sumária e acrítica de algoritmos e técnicas de resolução de problemas (“exercícios”) relacionados aos conteúdos científicos abordados	8
Carência de disciplinas focadas na formação geral do professor, capazes de oferecer um conjunto mais diversificado de estratégias didáticas ao licenciando	3
Predominância de aulas teóricas concentradas em demasia na figura do professor, sem uma efetiva interlocução com os anseios e o cotidiano do licenciando	1
<u>Outros:</u> Nada	1

Tabela 19: Respostas dadas pelos licenciandos para a 4ª. questão do QI, sobre as lacunas identificadas no curso de graduação no tocante à preparação para o trabalho com a HC.

Houve no curso algum tipo de atenção dada à narrativa de fatos relacionados à HC feita no Brasil ou, então, por brasileiros no Exterior? Em caso afirmativo, cite os nomes das personalidades trabalhadas e/ou os episódios históricos abordados.		
	Personalidades / Episódios	Comentários Adicionais
Sim (14)	Cesar Lattes (5), Mario Schenberg (2), Landell de Moura (1), Santos Dumont (1)	<p>“Cesar Lattes é o que é mais abordado comumente”</p> <p>“Mario Schenberg e Cesar Lattes, mas de forma informal, pois era em meio às lembranças (da própria história) do nosso professor X”</p> <p>“Cesar Lattes, citado pela profa. Y em Efeitos Biológicos das Radiações”</p>
Não (6)		

Quadro 4: Respostas dadas pelos licenciandos para a 5ª. questão do QI, sobre a presença de personalidades e episódios da História da Ciência Nacional em disciplinas da graduação. Para evitar controvérsias e constrangimentos, os nomes dos professores citados foram omitidos.

2.2.3 – Análise das respostas obtidas: principais indicativos e prescrições referentes à escolha dos episódios históricos relacionados à Ciência Nacional

Antes da análise pontual das respostas recebidas para cada questão, considero importante mencionar a baixa adesão dos licenciandos aptos a participarem desta etapa da pesquisa que, uma vez convidados, de fato se interessaram por responder ao QI (36,7%). Houve um intervalo de 85 dias desde o primeiro contato que fiz convidando os licenciandos para participarem da nova etapa da pesquisa até o momento em que encerrei a possibilidade de acesso *online* ao sistema. Nesse período, ainda tornei a enviar-lhes outros dois e-mails explicando-lhes os propósitos do trabalho, com o objetivo de incentivar-lhes a colaborar. Esse resultado parece sinalizar para a maior efetividade dos questionários aplicados presencialmente, como foi o caso do QD.

Ao comparar os dois grupos de respondentes (os 148 participantes do QD com os 20 respondentes do QI), constatei não ter havido uma variação tão significativa no percentual de participantes das duas IES (USP: 44% para 35%; IFSP-SP: 56% para 65%). Sobre o percentual de disciplinas já concluídas do curso, houve um aumento mais expressivo no grupo dos licenciandos que já haviam completado 50% ou mais de disciplinas, fato que pode indicar a maior preocupação e interesse desse grupo em relação à prática da pesquisa.

Comento a seguir os resultados de cada questão do QI, fazendo correlações entre eles sempre que considerado pertinente.

Questão 1

Como era de certa forma esperado, a grande maioria das disciplinas destacadas pelos licenciandos foram aquelas batizadas com nomes contendo o termo “história”, caso de “História da Física Clássica”, “Ciência, História e Cultura” e “Tópicos de História da Física Moderna”, sendo “Epistemologia e Ensino da Ciência” uma coirmã próxima. Na sequência, merece destaque a disciplina “Gravitação”, evidenciando o interesse dos docentes responsáveis por ministrá-la na apresentação do histórico da chamada “Revolução Científica”. Independentemente do enfoque dado, esse tema da Física Clássica parece permitir que o docente trabalhe com suficiente segurança seus aspectos teóricos em concomitância com uma abordagem histórica.

Exceção feita à “Gravitação”, nota-se ser baixa a presença da HC nas demais disciplinas do curso de licenciatura, que talvez estejam mais comprometidas com a apresentação dos aspectos teóricos, experimentais e, eventualmente, tecnológicos do conhecimento físico abordado.

Ainda no grupo das disciplinas, que também podem ser denominadas como “teóricas” – que receberam outra denominação apenas como forma de se reforçar sua

identificação por parte dos licenciandos –, as disciplinas “metodológicas” também ocupam lugar de destaque quanto ao trabalho com a HC, em geral oferecidas sem um vínculo formal com conteúdos programáticos específicos.

O destaque negativo recai sobre o baixo número de respostas indicando ter havido um trabalho com a HC feito por disciplinas de “Estágio” e “Oficina de Projetos”. Tal resultado indica que a presença da HC no processo de formação do professor de Física é mais valorizada nas disciplinas de cunho teórico do que naquelas de caráter de aplicação em sala de aula. Esse seria mais um importante nó a ser desatado no processo de elaboração da grade curricular das licenciaturas, oferecendo maior espaço para as discussões práticas envolvendo a presença da HC no ensino de Física.

Questão 2

Complementando os resultados da questão anterior, uma suspeita para a falta de efetividade do trabalho feito com a HC no processo de graduação do licenciando seria a necessidade de cuidados com o aspecto instrumentalizador do curso, no sentido de propor ao licenciando a efetiva preparação de materiais, cujo destino final seria a sala de aula.

Todavia, a distribuição das respostas ao longo das possibilidades previamente oferecidas parece indicar a necessidade desta questão ser aprofundada junto aos respondentes por meio, por exemplo, de uma entrevista. Isto porque as quatro respostas mais frequentes, dadas por mais da metade dos respondentes, abarcam boa parte das prescrições – e, ao mesmo tempo, das críticas – a respeito do que deveria caracterizar o trabalho com a HC desenvolvido em um curso de licenciatura em ciências.

Como exemplo dessa realidade tem-se o destaque ao uso de fontes primárias e secundárias como base para discussões a serem realizadas em sala de aula, somado à proposição de atividades práticas, com um enfoque mais atual, da HC em contextos didáticos elaboradas pelos licenciandos *versus* a persistência das aulas expositivas concentradas na figura do professor da disciplina.

Afinal, não foi previsto o detalhamento dessas possibilidades de trabalho, bem como não foi inquirida a frequência com que tais ações ocorriam. Ou seja, faltou solicitar aos respondentes que destacassem os aspectos mais recorrentes das aulas dentre os que foram sugeridos.

Questão 3

Nesta questão há uma confirmação das respostas dadas pelos participantes do QD, visto que as indicações mais frequentes foram as mesmas já destacadas.

Os licenciandos parecem realmente se incomodar com as dificuldades de se trabalhar com a HC contando, na atualidade, com um número tão reduzido de aulas semanais efetivamente destinados à Física enquanto componente curricular do curso de Ensino Médio.

Na sequência, o fato de a HC não ser formalmente cobrada nos vestibulares continua a ser uma forma de enfraquecer sua valorização junto aos licenciandos, que concorre com as dificuldades encontradas pelos professores nos momentos em que solicitam aos seus alunos a leitura dos textos que dão suporte às discussões implementadas em aula.

Considerando, ainda, que os licenciando declararam não conhecer uma variedade de materiais envolvendo a HC que tivessem concretas possibilidades de serem utilizados em contextos didáticos, bem como de livros didáticos estruturados de acordo com essa dinâmica, ficam ainda mais evidentes a importância e o significado do trabalho que será apresentado no próximo capítulo.

Questão 4

As respostas oferecidas a esta questão parecem lançar uma luz sobre parte das indefinições presentes no resultado da 2ª questão. Se com aquele questionamento não foi possível identificar com clareza aspectos inerentes às aulas que pudessem indicar alguns traços característicos a serem reforçados – ou evitados –, nesta questão ficaram bem mais evidenciadas as lacunas que deveriam ser preenchidas.

Ao enfatizarem a carência ou ausência de professores do curso de licenciatura com formação específica em HC, os futuros docentes parecem deixar latente a preferência pela participação em disciplinas nas quais a HC fosse trabalhada sob uma abordagem que privilegiasse uma discussão mais aprofundada das ideias e temáticas desenvolvidas. Essa postura estaria em contraposição àquela predominante em aulas caracterizadas pela transmissão sistemática de informações às quais o licenciando dificilmente consegue atribuir sentido e incorporar em sua futura prática docente.

O destaque para a carência ou ausência de disciplinas na licenciatura focadas na instrumentalização dos critérios e conhecimentos historiográficos trabalhados, como geralmente ocorre com outras estratégias didáticas, torna ainda mais evidentes os anseios dos futuros professores por esses momentos de protagonismo e discussão

dos preceitos e parâmetros da HC, de modo a lhes permitir utilizar esse recurso com autonomia e segurança em situações didáticas.

Questão 5

Considero necessário ressaltar que, ao propor esta questão, não tinha muitas dúvidas a respeito daquilo que seria obtido. Exceção feita ao nome de Cesar Lattes, repetido com grande recorrência em todos os níveis de ensino da Física, raras são as personalidades ligadas à ciência feita no Brasil, ou por brasileiros ao redor do mundo, com equivalente reconhecimento.

Todavia, a menção a essa personalidade não aparenta ser acompanhada pela caracterização, contextualização e sistematização dos seus trabalhos, visto que os licenciandos que optaram por oferecer detalhes dessa inserção – mesmo sem essa ação ter sido solicitada – foram unânimes em evidenciar o caráter informal, alegórico e suplementar das informações oferecidas.

Mesmo tendo propositalmente evitado perguntar a forma pela qual o histórico de tais personalidades foi trabalhado por disciplinas da licenciatura, torna-se evidente ser muito pequena a valorização e divulgação daquilo que já foi produzido, e ainda se produz, de ciência no Brasil e pelos brasileiros.

Em suma, o declarado despreparo dos licenciandos no tocante aos usos da HC na composição de suas aulas na Escola Básica evidencia haver um abismo separando o que está expresso nos documentos que regulamentam oficialmente o ensino de ciências no país e sua utilização pelos docentes atuantes em cursos de formação de professores.

Na prática, verifica-se que mesmo aqueles docentes atuantes em licenciaturas mais bem intencionados e suficientemente preparados para a exposição dos aspectos teóricos e, por consequência, dos inerentes critérios historiográficos associados, não promovem em seus cursos ações e atividades voltadas para a instrumentalização dos licenciandos com vistas a prepará-los para utilizarem a HC como recurso didático.

Dessa maneira, as aulas informam e instruem os licenciandos, por exemplo, em relação aos objetos e objetivos, à importância, ao histórico e às características das correntes historiográficas, mas não preparam os futuros professores para efetivamente se apropriarem desses elementos na constituição de suas práticas docentes, tal qual ocorre regularmente com outras estratégias de ensino-aprendizagem, dentre as quais a Experimentação parece ocupar um lugar de destaque.

Ainda que tal prática pareça ser usual, ela reduz a importância das disciplinas oferecidas nas licenciaturas em Física relacionadas à HC, limitando esse trabalho à

mera discussão teórica e intelectual dos aspectos abordados, incipientes em termos práticos para os professores em formação.

Recorrendo a outro importante documento que rege o Ensino de Ciências no Brasil, as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) específicas para os cursos de Física determinam que

a formação do Físico não pode prescindir de uma série de **vivências** que vão tornando o processo educacional mais integrado. [...] Por exemplo, no caso da Licenciatura, [o graduado deve] ter participado da elaboração e do desenvolvimento de atividades de ensino (BRASIL, 2001, p. 5, grifo no original).

Prosseguindo um pouco mais nessa leitura, encontra-se o destaque específico para o objeto aqui estudado. Os conteúdos curriculares estabelecidos para o núcleo comum dos módulos sequenciais especializados da Física (Bacharelado em Física, Licenciatura em Física, Bacharelado ou Licenciatura em Física e Associada¹⁶ e Bacharelado em Física Aplicada) devem ser contemplados

por conjuntos de disciplinas relativos à Física geral, matemática, Física clássica, Física moderna e ciência como atividade humana, [dentre as quais há um grupo de] disciplinas complementares que ampliem a educação do formando. Estas disciplinas abrangeriam outras ciências naturais, tais como Química ou Biologia e também as ciências humanas, contemplando questões como Ética, Filosofia e **História da Ciência**, Gerenciamento e Política Científica etc.” (BRASIL, 2001, p. 6 e 7, grifo meu).

No caso particular dos cursos de licenciatura, ainda que as DCN não especifiquem a obrigatoriedade de se praticar os conhecimentos trabalhados nas chamadas “disciplinas complementares” (caso da HC), defendo tal necessidade, de modo que a referida ampliação da educação dos futuros professores seja verdadeiramente refletida em sua prática profissional.

Aproveitando-me das respostas dadas pelos licenciandos para a questão 5 – a respeito da lacuna em sua formação no tocante ao trabalho com episódios da ciência nacional –, no capítulo a seguir discorro sobre a capacidade dessa temática viabilizar o exercício dos critérios da moderna historiografia da ciência em sua apropriação realizada no ensino da Física, respeitando a experiência profissional dos docentes e as decorrentes demandas e expectativas.

Os destaques efetuados pelos licenciandos no QD desta pesquisa, são reforçados pelos resultados do QI, e remetem a algumas das ideias desenvolvidas por Tardif (2013) e pesquisadores a ele associados. Segundo Tardif (2013), a

¹⁶ “Por Associada, entende-se a área (Matemática, Química, Biologia, Engenharia etc.) na qual os Físicos possam atuar de forma conjunta e harmônica com especialistas dessa área. Desta forma, poder-se-á ter, por exemplo, o Bacharel em Física e Química, ou Licenciado em Física e Biologia, ou Física e Comunicação” (BRASIL, 2001, p. 8).

Epistemologia da Prática Profissional (EPP) seria “o estudo do *conjunto* dos saberes¹⁷ utilizados *realmente* pelos profissionais em seu espaço de trabalho cotidiano para desempenhar *todas* as suas tarefas” (TARDIF, 2013, p. 255, *grifos em itálico no original*). Trata-se de uma teoria pautada pela valorização do trabalho, sustentada pela dimensão social de sua abordagem em sintonia com a valorização do professor enquanto ator individual empenhado na atividade que pratica.

Dentre os pontos defendidos por esse autor, chama a atenção a recorrência com a qual condiciona estar o *saber* a serviço do *trabalho*. Em suas palavras, “as relações dos professores com os saberes nunca são relações estritamente cognitivas: são relações mediadas pelo trabalho que lhes fornece princípios para enfrentar e solucionar situações cotidianas” (TARDIF, 2013, p. 17).

Conforme já relatado nos capítulos e seções anteriores, meu objetivo maior aqui é exercitar os critérios da moderna historiografia da ciência junto a professores em formação, evidenciando sua sintonia com as atuais diretrizes de promoção de um ensino de ciências mais crítico e participativo. Contudo, só reconheço valor e efetividade nessas intenções se puder levar em consideração as dificuldades e pontos de vista dos licenciandos na constituição das minhas ações, ainda que para isso precise relativizar, com consciência e assertividade, alguns dos critérios historiográficos mencionados.

Assim sendo, meu já destacado interesse em utilizar HC Nacional como pano de fundo para a exemplificação dos critérios historiográficos em situações didáticas leva em conta, necessariamente, as opiniões dos professores de Física em formação – presentes no QD e no QI – e, também, dos profissionais recém formados – coletadas por meio do questionário final que dá sustentação ao capítulo 4 deste trabalho. Esse conjunto de dados e informações é tomado como principal referência para a elaboração dos episódios exemplares para aplicação didática, pormenorizados a seguir no capítulo 3 e avaliados no capítulo 4.

¹⁷ Tardif ressalta a polissemia associada a esse termo, englobando os conhecimentos, as habilidades (ou aptidões), as competências e as atitudes (saber-fazer e saber-ser).

Capítulo 3

A História da Ciência Nacional e seu potencial didático na formação de professores de Física

Art. 218. O Estado promoverá e incentivará o desenvolvimento científico, a pesquisa e a capacitação tecnológicas.

§ 1º. A pesquisa científica básica receberá tratamento prioritário do Estado, tendo em vista o bem público e o progresso das ciências.

§ 2º. A pesquisa tecnológica voltará-se-á preponderantemente para a solução dos problemas brasileiros e para o desenvolvimento do sistema produtivo nacional e regional.

Constituição da República Federativa do Brasil

3.1 – Delimitação da temática

A análise das respostas dadas ao QI evidenciou a baixa frequência com que fatos e personalidades ligadas à história da ciência nacional integram o processo de graduação dos licenciandos em Física. Como tentativa de preencher essa lacuna, em sintonia com o mote do presente trabalho, direcionei a escrita do estudo de caso destinado à exemplificação e ao exercício dos critérios historiográficos apresentados no capítulo 1, de forma a contemplar um episódio da história da ciência nacional.

Conforme destacado na epígrafe ao presente capítulo, o documento mais importante do nosso país declara o compromisso do Estado Brasileiro com a melhoria da qualidade de vida de seus cidadãos conquistada a partir de resultados advindos das pesquisas realizadas em ciência. Desde a promulgação da Constituição até hoje, muitas foram as transformações ocorridas no Brasil e no mundo. Porém, nossa educação em ciências parece ainda preferir priorizar a divulgação de fatos e conquistas obtidas por nações histórica e culturalmente mais “aptas” a essa prática, limitando-se a veicular as maravilhas tecnocientíficas produzidas pelos autênticos executores de uma metodologia de trabalho originada no seio das principais culturas europeias.

Na contramão dessa realidade, um olhar mais atento lançado sobre as atividades de cunho científico e tecnológico desenvolvidas em nosso país permite evidenciar que o Brasil tem ampliado sua participação em diversas áreas do conhecimento, com expressiva atuação no cenário mundial, possuindo, inclusive, o domínio de avançadas tecnologias que o tornam, em algumas áreas, autossuficiente e competitivo frente a outras nações.

O desenvolvimento da tecnologia dos motores *flex* (bicombustíveis, sendo o etanol um deles) para veículos automotores, o domínio do ciclo completo do urânio utilizado como “combustível” das usinas termonucleares para geração de energia elétrica e as pesquisas voltadas para a fabricação do exoesqueleto robótico (destinado a tornar possível que uma pessoa com paraplegia volte a caminhar) são exemplos significativos de aplicações tecnológicas de conhecimentos científicos desenvolvidas em território nacional.

No contexto desta pesquisa, considero como *Ciência Nacional* (CN) o conjunto de pesquisas e atividades científicas realizadas em território nacional ou, então, por brasileiros que atuem de modo relevante em qualquer parte do mundo, além de também fazerem parte dessa definição o conjunto de tecnologias sobre as quais o país tem pleno domínio, seja obtido a partir de desenvolvimento próprio ou por meio de parcerias.

Além dos já citados, a CN tem exemplos de pioneirismo e reconhecimento em pesquisas, invenções e descobertas, com nomes consagrados como Carlos Chagas, Oswaldo Cruz e José Leite Lopes. Há também os exemplos de Santos Dumont, Landell de Moura e César Lattes, personalidades cujo reconhecimento não prescindiu de uma boa dose de polêmica em torno de suas atuações.

Atribuo a tais controvérsias parte das dificuldades de se fazer o Brasil lograr uma maior aceitação em nível interno enquanto importante centro de promoção de pesquisas científicas e tecnológicas, de maneira a evidenciar haver um promissor nicho a ser explorado internamente pelos brasileiros interessados em atuar profissionalmente enquanto cientistas ou, ainda que no exterior, vinculados à ciência do Brasil por meio de incentivos das mais diversas naturezas.

Controvérsias somadas a desconhecimento geram a construção de uma imagem que não favorece as tentativas do professor de ciências de trabalhar os conteúdos programáticos de sua área junto aos alunos, os quais dificilmente acreditam nos resultados da CN. Esse fato faz lembrar uma célebre frase de Vinicius de Moraes, o *poetinha*, referindo-se ao avião: “é mais pesado do que o ar, tem motor a explosão e foi inventado por brasileiro. E você ainda quer que eu entre nele?” (CASTRO, 2007, p. 29). Acredito que ensinar ciências por meio da história da CN possa fomentar o interesse dos estudantes brasileiros pelas carreiras científicas, desafiando a crença na incapacidade dos brasileiros em produzir ciência de primeira qualidade, interna e externamente. Isso pode gerar benefícios diretos na atuação do professor em sala de aula, tornando-a mais crítica, efetiva e motivadora. Até porque, por vezes, parques e

difusos são os conhecimentos dos próprios docentes acerca dessa temática, nem sempre advindos dos tempos de sua formação inicial.

Na história da ciência nacional há episódios que evidenciam um Brasil há tempos interessado e persistindo na busca pelo desenvolvimento científico e tecnológico, por vezes alcançando resultados positivos a partir de meios inusitados (e até obscuros). Um exemplo disto ocorreu quando o país desejou utilizar a energia nuclear, na década de 1970. Naquela ocasião, o Brasil firmou um acordo com a então Alemanha Ocidental que se revelou uma parceria negativa, pois os termos não foram cumpridos e a almejada transferência de tecnologia foi marcada por dificuldades e obstruções. Frente ao fato, o país desenvolveu um programa nuclear paralelo ao oficial, em que pesquisas próprias resultaram no domínio dos processos produtivos do urânio para fins de obtenção da energia nuclear (KURAMOTO; APPOLONI, 2002; SCHMIEDECKE, 2006).

Trata-se de um episódio histórico da energia nuclear no Brasil com potencial para auxiliar no ensino de um importante ramo da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio: a Física Nuclear. Afinal, a FMC consolidou-se como componente curricular nos últimos anos, conforme demonstra o fato de participar dos critérios eliminatórios do Programa Nacional do Livro Didático, o PNLD.

Entretanto, um levantamento feito por Schmiedecke e Valente (2012), nas obras aprovadas no Guia do PNLD 2012, mostra que a apresentação dos aspectos históricos referentes à energia nuclear carece de qualidade e efetividade, pois prevalece nos livros didáticos o destaque aos aspectos teóricos, técnicos, tecnológicos e ambientais, e a visão alienada do cientista que desenvolve sua pesquisa em busca de uma “verdade” desprovida de valores sociais, éticos e morais.

Em outra situação, centrada no campo da ciência aeronáutica / aeroespacial, o país tornou-se um dos maiores produtores de aviões do mundo, apesar do desenvolvimento na engenharia aeronáutica ser relativamente recente. Nas atividades espaciais, o Brasil participa do restrito grupo de quinze países que possuem um programa espacial completo, com satélites, veículo lançador, centros de lançamento (Barreira do Inferno/RN e Alcântara/MA) e missão tripulada ao espaço (REZENDE, 2010), com o astronauta Marcos Pontes.

Entretanto, essa trajetória é marcada por acordos obscuros e não cumpridos, de um lado e de outro, e conquistas muitas vezes sustentadas por iniciativas pessoais. Apesar da posição que ocupa referente à ciência espacial, o país ainda não se consolidou como produtor de foguetes e veículos lançadores de satélites, nos mesmos moldes obtidos na fabricação de aviões. Parte importante desses insucessos pode ser

atribuída aos países desenvolvidos, que impõem restrições sob a alegação da possibilidade de uso bélico da tecnologia espacial (SCATOLIN, 2008).

Somados a esse fato, os altos custos e a falta de demanda impedem que a indústria nacional se comprometa a desenvolver e produzir peças e equipamentos necessários às atividades espaciais – o que causou a exclusão do Brasil, em 2008, do grupo de países participantes da Estação Espacial Internacional (ISS, na sigla em inglês). Fica assim evidente a existência de um grave afastamento entre os interesses da pesquisa e os dos meios de produção, e, sobretudo, a negligência em relação aos objetivos educacionais (PONTES, 2011).

Ainda que a peso de ouro e com uma contrapartida mínima em termos científico-tecnológicos, o país realizou a chamada “Missão Centenário”, enviando um astronauta à ISS; mas, as pesquisas desenvolvidas por lá não foram devidamente divulgadas. A respeito deste importante episódio histórico da ciência do Brasil, pouco se encontra nos livros didáticos para o ensino médio. Santos e Schmiedecke (2013), por exemplo, em uma pesquisa realizada nas obras aprovadas pelo PNLD 2012, revelaram que a ciência aeroespacial ocupa um espaço exíguo no Ensino de Física e, principalmente, que a ciência aeroespacial do Brasil pouco participa da Física que chega às salas de aula, apesar de ter potencial para suprir as diferentes componentes curriculares no ensino médio e promover debates promissores no âmbito das relações entre ciência, tecnologia e sociedade.

Os exemplos mencionados são apenas dois dentre os vários que a CN pode oferecer, e evidenciam haver uma ciência consolidada e atuante dentro e fora do país, com potencial para, em sua dimensão didática, oferecer sustentação para as principais diretrizes de contextualização sociocultural e formação cidadã anteriormente mencionadas, de modo que os resultados decorrentes da ciência estejam comprometidos com o desenvolvimento da sociedade e o bem-estar da humanidade.

Além dos benefícios formativos associados à abordagem contextualizada dos episódios da CN, o quadro 3 apresenta uma pequena síntese de conteúdos da Física passíveis de serem trabalhados em sala de aula e alguns aspectos extracientíficos a eles relacionados que poderiam ser explorados em atividades destinadas ao trabalho interdisciplinar. Sem a pretensão de ser exaustiva, trata-se de uma compilação de possibilidades destinadas a servirem de referência e incentivo para os docentes da Escola Básica elaborar aulas e intervenções didáticas contendo atividades de cunho interdisciplinar a serem trabalhadas com seus alunos. Essas ações deveriam ser capazes de mobilizar e conciliar a HC com recursos e estratégias didáticas diversas nas distintas etapas de sua execução.

Episódios	Conteúdos sugeridos	Aspectos extracientíficos
Barão de Mauá e as estradas de ferro	Termodinâmica, Leis de Newton	Históricos, sociais, econômicos, ambientais
Landell de Moura e a telegrafia	Ondulatória, Eletromagnetismo	Históricos, culturais, sociais
César Lattes e a descoberta do pión	Física de Partículas	Históricos, culturais, sociais, éticos
Acordo Nuclear Brasil – Alemanha Ocidental	Física nuclear	Históricos, políticos, éticos, ambientais, econômicos, educacionais
Missão Centenário e o astronauta Marcos Pontes	Leis de Newton, lançamento de projéteis, Gravitação Universal	Históricos, políticos, sociais, econômicos, educacionais
Acidente com o VLS e os programas de lançamento de satélites CBERS e Cyclone	Cinemática, Leis de Newton, Gravitação Universal, Ondas	Históricos, políticos, sociais, econômicos
Laboratório Nacional de Luz Síncrotron	Eletromagnetismo, Física de Partículas	Históricos, políticos, sociais, econômicos
André K. T. Assis: grandezas relacionais e o Eletromagnetismo de Weber	Eletromagnetismo, Gravitação	Históricos, políticos, educacionais
Bartholomeu de Gusmão e Santos Dumont: da Aerostação à Aviação	Hidrostatica, Fluidodinâmica	Históricos, políticos, sociais, éticos
Miguel Nicolelis e o exoesqueleto	Eletromagnetismo, Robótica	Históricos, políticos, econômicos, éticos
Constelações Indígenas Brasileiras	Astronomia	Históricos, culturais, étnicos
Gurgel Motores: a primeira montadora de automóveis genuinamente brasileira	Termodinâmica, Dinâmica, Eletromagnetismo	Históricos, culturais, econômicos, políticos
Joaquim da Costa Ribeiro e o Efeito Termoeletrônico	Física Moderna, Eletromagnetismo, Termodinâmica	Históricos, políticos, econômicos

Quadro 5: A Ciência Nacional e potenciais conteúdos para o Ensino de Física.¹⁸

Levando em conta as informações oferecidas pelos licenciandos no contexto do QI e os objetivos já destacados, selecionei um episódio da CN – que investiguei por ocasião da escrita da minha dissertação de mestrado (SCHMIEDECKE, 2006) – e elaborei o texto histórico presente na próxima seção deste capítulo. A síntese desse texto, a ser trabalhada em sala de aula, é apresentada no apêndice D.

¹⁸ O ponto de partida para a constituição do quadro 3 foi o trabalho de Santos *et al.* (2013). Contudo, sua configuração final foi enriquecida pelos resultados das pesquisas desenvolvidas pelos estudantes das disciplinas de “Ciência, História e Cultura” e “Oficina de Projetos”, que lecionei na licenciatura em Física do IFSP-SP, entre os anos de 2010 e 2015.

3.2 – Episódio elaborado: Acordo Nuclear Brasil – Alemanha Ocidental: antecedentes, controvérsias e desdobramentos

Introdução

A sequência de descobertas envolvendo as possibilidades de aplicação da energia nuclear evidenciou ao longo dos tempos as diversas facetas de uma área da ciência fadada à controvérsia, e alinhada aos interesses das nações já estabelecidas em termos econômicos, científicos e tecnológicos.

Além do conhecido emprego na construção de armamentos de destruição em massa, o conjunto de alternativas oferecidas pela tecnologia nuclear inclui, por exemplo, as aplicações em medicina – que vão de exames laboratoriais à elaboração de radiofármacos, passando pelo tratamento tópico de doenças com a radioterapia –, a datação geológica de rochas e fósseis e a construção de usinas nucleares destinadas à produção de eletricidade. Um espectro tão vasto de possibilidades exige, portanto, a tomada de cuidados específicos.

Reconhecido detentor de um imenso potencial hidroelétrico, o Brasil historicamente concentrou sua produção energética nessa modalidade de geração de eletricidade. De Itaipu a Belo Monte, muito se discutiu a respeito dos méritos e das desvantagens do investimento na produção da energia associada ao movimento das águas dos rios que atravessam nosso país.

Entretanto, houve ocasiões em que eminentes vozes oriundas da comunidade científica destacaram a viabilidade e a importância de uma diversificação da matriz energética nacional. E a crise hídrica que assolou o Brasil nos últimos anos, responsável pela interrupção do fornecimento de água nos mais variados centros urbanos, reforçou essa necessidade.

Considerando que atualmente nosso país detém a 7ª. maior reserva de urânio entre os países do mundo, e ainda assim tendo somente cerca de um terço de seu território prospectado, seria razoável considerar a possibilidade de utilização da tecnologia nuclear para a geração de energia elétrica.

Se a origem da chamada “opção nuclear” no Brasil possui um vínculo com discussões implementadas em nível acadêmico, o planejamento e a efetivação dos meios destinados à transferência do *know-how* nuclear ocorreram, em grande parte, às margens do desejável debate com os membros da comunidade científica estabelecida no país, que esteve por mais de duas décadas sob a tutela de um regime político ditatorial, liderado por representantes das Forças Armadas.

Este texto apresenta uma versão do histórico da introdução da energia nuclear na composição da matriz energética brasileira, surgida sob a justificativa de seus idealizadores de colocar o Brasil em sintonia com a prática científica desenvolvida pelas principais potências mundiais, visando ao conhecimento e ao domínio da tecnologia nuclear.

A partir da constituição de um quadro destinado a descrever o cenário mundial em que surgiram e se desenvolveram as primeiras pesquisas e aplicações da tecnologia nuclear derivadas da descoberta do processo de fissão do núcleo atômico, apresenta-se o surgimento da opção nuclear no Brasil como uma das justificativas para a criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), no início da década de 1950, passando pela chegada dos primeiros reatores de pesquisa no país, até ocorrer a assinatura do acordo nuclear com a Alemanha Ocidental, em 1975.

A seguir é feita a contextualização de uma circunstancial e efêmera situação de crescimento econômico experimentada pelo país entre o final da década de 1960 e o início dos anos 1970 (o chamado “milagre econômico”) – e sua ligação com a realidade mundial de expectativa de um colapso energético provocado pela disparada dos preços dos derivados do petróleo nas duas grandes crises ocorridas em 1973 e 1979 –, que levaram os governos do Brasil e da Alemanha Ocidental a assinar o “acordo sobre cooperação no campo dos usos pacíficos da energia nuclear”.

Em meio às controvérsias envolvendo as opiniões de cientistas, políticos e tecnocratas, é apresentado aqui um aspecto ainda pouco explorado das consequências do Acordo: resultados positivos pontuais obtidos pelo programa oficial de formação de recursos humanos em contraposição ao surgimento do chamado programa nuclear paralelo, idealizado e conduzido por setores ligados às Forças Armadas.

Desta maneira, pretende-se oferecer uma versão do criticado acordo nuclear Brasil – Alemanha Ocidental, disponibilizando aos interessados pela história da ciência nacional informações que, dentre outras consequências e possibilidades, permitem o reconhecimento da existência de uma política oficial de capacitação que foi responsável pela formação de algumas centenas de profissionais brasileiros em uma área tão estratégica e polêmica.

A fissão do núcleo atômico e a formação dos blocos mundiais

Em dezembro de 1938, os alemães Otto Hahn (1879 – 1968) e Fritz Strassmann (1902 – 1980), trabalhando para o governo nazista no Instituto de

Química Kaiser Wilhelm, em Berlim, obtiveram experimentalmente um método para seccionar núcleos de átomos de urânio.

Originalmente, as experiências realizadas com núcleos de urânio bombardeados por nêutrons visavam à produção de átomos ainda mais pesados. Contudo, muito além da descoberta da possibilidade de cindir o “indivisível”, o grande diferencial da técnica empregada por esses cientistas estava nos subprodutos gerados: elementos mais leves e liberação de energia.

A técnica, denominada *fissão nuclear*, surpreendeu o meio científico à época pela imensa quantidade de energia liberada na “quebra” dos núcleos de urânio, deixando no ar as efetivas possibilidades tecnológicas desse novo fenômeno, até mesmo entre os seus descobridores. E aqui reside uma das mais fascinantes nuances da história da ciência: nem sempre o autor de uma ideia ou o descobridor de um fenômeno tem de antemão a exata dimensão do alcance de suas “criações”.

No caso específico da fissão nuclear, ao menos dois outros físicos austríacos deveriam ter seus nomes incluídos nesse histórico: Lise Meitner (1878 – 1968) e Otto Frisch (1904 – 1979), que ofereceram importantes contribuições teóricas para a elucidação do fenômeno da fissão nuclear. Todavia, em dezembro de 1944, apenas Hahn foi agraciado com o Prêmio Nobel de Química pela descoberta da fissão nuclear. E, passados mais oito meses, o mundo – e, mais especificamente, os habitantes das cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki – colhia os resultados da aplicação tecnológica mais cruel dessa conquista de Hahn: as bombas atômicas detonadas, em agosto de 1945, no Japão.

Estava dada, assim, a largada para a corrida nuclear, quando as potências surgidas do pós-Segunda Guerra visualizaram no uso da energia do núcleo do átomo possibilidades diversas e, aparentemente, ilimitadas. Em concomitância, eram suscitados debates em nível mundial a respeito da ética científica.

Por se tratar de uma forma de conhecimento geradora de resultados que transcendem ao seu campo original de atuação, a ciência carrega consigo o ônus de ser supostamente a responsável final pela resolução inequívoca de equações compostas por muitas variáveis. Ainda que por vezes seja apresentada como mais elucidativa, enriquecedora, empreendedora e “triunfante” que outras formas de conhecimento, a ciência deixa transparecer com frequência problemas graves associados exatamente a esse conhecimento que produz, às ações que determina e às sociedades que transforma.

Mesmo sendo capazes de satisfazer às necessidades sociais e, assim, proporcionar importantes conquistas à civilização, as descobertas em ciência trazem

simultaneamente em seu bojo possibilidades nefastas de subjugação e, no caso específico da utilização da energia nuclear, a ameaça de aniquilamento da humanidade.

Tomando como exemplo os Estados Unidos da América (EUA), observa-se como esse quadro apresenta muitas facetas que exemplificam a complexidade das interações entre a ciência e a sociedade. Por exemplo, uma das principais vantagens competitivas da economia estadunidense sempre foi sua capacidade de transferir rapidamente a tecnologia desenvolvida para fins militares em direção à produção civil.

Em tempos mais recentes, outros exemplos do rápido processo de desenvolvimento tecnológico que caracteriza a chamada 3ª Revolução Industrial (que tem como elementos centrais os desenvolvimentos em robótica, semicondutores e engenharia genética) tornaram-se ainda mais evidentes. A *internet*, por exemplo, difundida em nível mundial na década de 1990, nasceu como uma rede de intercomunicação para tempos de guerra.

Sob essa perspectiva, eram de se esperar resultados contumazes diretamente colhidos do chamado “Projeto Manhattan”, um aparato científico de proporções sem precedentes na história que mobilizou, direta e indiretamente, algumas dezenas de milhares de cientistas, engenheiros e técnicos que, em parte, não faziam ideia do produto final do trabalho que desenvolviam. Implementado pelo governo norte-americano entre 1942 e 1945, o Projeto Manhattan tinha o objetivo de construir, antes dos nazistas, uma arma de destruição em massa cujo princípio de funcionamento concentrava-se no aproveitamento da energia contida no núcleo do átomo.

Contando com personalidades de renome no meio científico, muitas delas foragidas de países europeus devido à ascensão do Nazismo (Alemanha) e do Fascismo (Itália), o Projeto Manhattan atingiu seu objetivo ao lograr êxito na construção de três bombas atômicas. Além das duas bombas lançadas sobre o Japão, três semanas antes foi realizado um teste no deserto de Los Alamos (Novo México, EUA), com a detonação de um artefato baseado na fissão do elemento químico plutônio.

Portanto, ao final da 2ª. Grande Guerra Mundial, os EUA eram a única nação em nível mundial detentora do conhecimento necessário para a construção de bombas atômicas, e com a vantagem de dominar a tecnologia capaz de produzir esses artefatos a partir do uso de dois elementos químicos distintos (urânio e plutônio) como “combustíveis” da fissão nuclear.

Conscientes do quanto essa realidade tornava os EUA privilegiados em termos políticos e econômicos, outras nações empreenderam esforços visando ao domínio da

tecnologia nuclear, principalmente aquelas que também se saíram vitoriosas da guerra recém-terminada. Nesse grupo, cabe destaque à União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), que, após a Revolução Russa (1917), adotou um regime político de essência e prática muito diferentes do capitalismo defendido pelos EUA e pelo bloco de países diretamente influenciados pelos norte-americanos. Um dos resultados mais notáveis desses esforços foi a detonação de um artefato nuclear pela URSS em agosto de 1949, quatro anos após os EUA bombardearem o Japão e darem fim à 2ª. Grande Guerra Mundial.

A forma pela qual a URSS logrou êxito nessa empreitada vai além dos esforços de cunho unicamente científico, dando margem a acusações de espionagem por parte dos norte-americanos, que internamente empreenderam diversas investigações com o objetivo de identificar os culpados pela venda dos segredos e detalhes cercando a tecnologia nuclear desenvolvida pelos EUA no contexto do Projeto Manhattan.

Esse fato, de natureza originalmente científica, é um marco decisivo para a consolidação de um período de tensões e rupturas – ora declaradas, ora veladas – entre os EUA e a URSS, que ficou conhecido como “Guerra Fria”. Estendendo-se oficialmente até o final do anos 1980, momento em que a URSS sofreu um colapso definitivo e se fragmentou nos diversos países que a constituíram em seu surgimento (Rússia, Ucrânia, Bielorrússia, Lituânia, Cazaquistão, entre outros), a Guerra Fria foi um período caracterizado, na prática, pela divisão das nações em dois grandes blocos: de um lado posicionaram-se aquelas que apoiavam os EUA e praticavam o sistema capitalista e, do outro lado, o conjunto de nações submetidas a uma variação do sistema socialista – denominada *comunismo* –, estabelecido e regulamentado pelos governantes da URSS.

Detentores de arsenais nucleares que cresceram em escala exponencial, principalmente ao longo das duas primeiras décadas de vigência da Guerra Fria, resultado do investimento maciço em pesquisas nas ciências nucleares, EUA e URSS foram protagonistas de uma série de episódios que levaram o mundo à convivência com a constante possibilidade de sucumbir em função de um iminente bombardeio promovido por esses dois países.

O petróleo é nosso! Já o urânio e o tório...

Após apoiar os “Aliados” durante a 2ª. Grande Guerra Mundial, o Brasil quase que compulsoriamente passa a perfilar entre as nações pertencentes ao bloco capitalista, mas sem nele ocupar uma posição de destaque quanto ao poder de decisão e, em especial, sem ter qualquer perspectiva de ser beneficiado pela

transferência dos conhecimentos científicos e tecnológicos alcançados pelas principais nações lideradas pelos EUA.

Na prática, essa realidade tornou o Brasil apenas mais um país relegado ao grupo de nações denominadas “em desenvolvimento” ou, sob outro rótulo também usual na época, nações pertencentes ao “Terceiro Mundo”. Sob essa última definição, o “Primeiro Mundo” seria ocupado pelas nações mais desenvolvidas do bloco capitalista (EUA, França, Inglaterra, Canadá etc.) e, por exclusão, o “Segundo Mundo” – ainda que esse termo não fosse usual – seria composto pela URSS e os demais países comunistas (Polônia, Iugoslávia, Bulgária, Romênia etc.).

Sob essa ótica, ser uma nação “em desenvolvimento” – posição ocupada, por exemplo, por todos os países latino-americanos, tais como a Argentina, o México e o Uruguai – significava depender das políticas sobre ciência e tecnologia ditadas pelo norte-americanos. Em outras palavras, não era interessante para Washington ver os países do Terceiro Mundo desenvolvendo-se em um ritmo acentuado, de forma a garantir um mercado consumidor cativo para os produtos e serviços comercializados pelas empresas norte-americanas.

Nesse contexto, considerando sua extensão continental e suas notórias riquezas naturais, o Brasil era visto como um potencial e privilegiado provedor de recursos naturais destinados ao desenvolvimento de pesquisas em ciência e tecnologia, com especial destaque para os minérios necessários para o avanço das investigações realizadas no âmbito da Física Nuclear.

Com o objetivo de modificar essa realidade, a história da energia nuclear no Brasil no pós-guerra tem início com os esforços do Almirante Álvaro Alberto de Motta e Silva (1889 – 1976) em resistir às pressões estadunidenses para alcançar o controle das reservas mundiais de tório e urânio, as quais eram por ele qualificadas como tentativas de desapropriação.

Alçado em 1951 ao cargo de primeiro presidente do recém-criado Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), no governo do presidente Getúlio Vargas (1950 – 1954), Álvaro Alberto propôs que fosse elaborada uma legislação destinada a proteger as reservas nacionais de tório e urânio contra a espoliação estrangeira. Nesse contexto, ele defendeu a tese das “compensações específicas”, o que valia dizer que nenhuma transação comercial com “minerais estratégicos” (termo cunhado por Álvaro Alberto) deveria ser realizada em dólares, mas na base de troca por tecnologia.

Tal postura endossava as ações do CNPq no sentido de estabelecer uma política nacional de desenvolvimento da energia atômica que defendesse os interesses nacionais. Todavia, o suicídio do presidente Vargas, em agosto de 1954,

permitiu que o governo provisório que se instituiu fizesse fortes investidas contra essa política, modificando-a de forma a atender aos interesses de grupos nacionais ligados à hegemônica política de energia nuclear dos norte-americanos.

Em decorrência do potencial identificado no território brasileiro para o fornecimento de material físsil, o interesse norte-americano foi formalizado com a assinatura de um conjunto de acordos durante a década de 1940, durante a 2ª. Grande Guerra Mundial e nos anos subsequentes, época em que o território foi vasculhado por numerosas equipes de geólogos e especialistas americanos, que efetuaram um levantamento detalhado do potencial das reservas brasileiras de urânio e de tório, além, obviamente, do recém-descoberto petróleo.

Assim sendo, o que se constata é que as resistências de Álvaro Alberto e do CNPq foram insuficientes para impedir a tomada de assalto das jazidas brasileiras pelos norte-americanos, que já em 1952 importaram de uma só vez toda a significativa cota de tório que lhes fora garantida pelo total de anos de acordo.

Entre 1956 e 1960, o presidente Juscelino Kubitschek buscou desenvolver projetos nucleares nacionais designando um Comitê de Investigação (Comissão Parlamentar de Inquérito – CPI) para examinar os acordos dos EUA com o Brasil. A CPI sugeriu que o Brasil adotasse uma postura nuclear independente, suspendendo, até segunda ordem, as exportações de urânio e tório e sugerindo a implantação de uma indústria nuclear no país. Como consequência direta, Kubitschek criou o IEA (Instituto de Energia Atômica, atual IPEN). O sucessor de Kubitschek, Jânio Quadros, presidente de janeiro a agosto de 1961, continuou a política nuclear independente e assim também o fez seu sucessor, João Goulart, entre 1961 e 1964.

Ainda em 1956 foi iniciada a construção do edifício que iria abrigar o primeiro reator nuclear do hemisfério sul: o Reator Nuclear IEA-R1, doado pelo governo norte-americano no contexto do programa “Átomos pela Paz”, criado em 1957 e destinado a manter um *pool* internacional que favorecesse o desenvolvimento dos usos da energia nuclear para fins civis, mas impedindo qualquer utilização militar dessa tecnologia.

Para que isso ocorresse, os EUA modificaram sua legislação e propuseram a “Lei de Energia Atômica” de 1954, que definiu a cooperação nuclear no domínio civil, regulamentando a oferta de reatores nucleares a outras nações exclusivamente para fins pacíficos. Obviamente, esse não era um ato de caridade.

No momento em que se deparavam com a quebra do seu monopólio envolvendo a tecnologia nuclear, pois URSS (1949) e Grã-Bretanha (1952) já haviam construído armas nucleares, caminho posteriormente seguido pela França (1960) e

pela China (1964), os EUA concordaram em compartilhar a tecnologia nuclear, mas sem comunicar os aspectos essenciais relacionados ao controle dos processos.

Prevendo que os conhecimentos relacionados à tecnologia nuclear poderiam se espalhar pelo mundo, os EUA decidiram tomar a dianteira e tentar orientar o progresso na área nuclear das nações em desenvolvimento, criando um mercado para produtos nucleares da indústria norte-americana. Como restrição ficou determinado que a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, em inglês), com sede na cidade de Viena (Áustria), deveria exigir das nações favorecidas pela aquisição dos reatores do programa o compromisso de impedirem em seus territórios toda e qualquer atividade que conduzisse a aplicações militares da tecnologia nuclear.

Nesse momento, surgia uma contradição: os países que já eram detentores de imensos arsenais e produtores de sistemas de armas atômicas ficaram isentos desse compromisso e, ainda, livres da necessidade de se submeterem às periódicas inspeções internacionais. Essas condições foram ratificadas posteriormente de maneira formal, entre 1968 e 1970, nos termos do *Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares* (TNP), proposto e imposto ao mundo pelas grandes potências nucleares. Atento às discriminações contidas nesse tratado, o Brasil somente se tornou seu signatário no ano de 1997, após o domínio da tecnologia nuclear ter sido conquistado internamente, sob condições que serão mencionadas mais adiante.

Além do pioneiro reator IEA-R1, doado pelos EUA, um segundo reator passou a operar em outubro de 1960, em Belo Horizonte (MG); em fevereiro de 1965, iniciou-se a operação do primeiro reator de pesquisa totalmente nacional, no Rio de Janeiro. Como previsto, os EUA retiveram o controle da tecnologia e dos subprodutos criados por reatores brasileiros. Nesse período, foi criada a CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), com a competência de estudar e propor medidas necessárias à orientação da Política Nacional de Energia Nuclear.

Planos para a construção de um reator nuclear que produzisse eletricidade foram feitos com base no sucesso desses artefatos; a importação de um projeto com este objetivo foi apresentada como uma alternativa viável, desde que consigo incorporasse a possibilidade concreta de transferência da respectiva tecnologia.

Em 1968, quando o Brasil já estava sob uma ditadura militar apoiada pelos EUA, e após estudos visando à localização de um sítio na região centro-sul do Brasil que atendesse às condições para abrigar a primeira usina nuclear do país, a CNEN e a Eletrobras (Centrais Elétricas Brasileiras) ficaram encarregadas do projeto de uma usina nuclear na cidade de Angra dos Reis (RJ). Três anos depois, seria iniciada a construção de Angra I.

Realizada a licitação internacional, a empresa norte-americana *Westinghouse Electric Corporation* venceu a concorrência, vendendo ao Brasil, em 1971, o projeto de um reator do tipo PWR (*Pressured Water Reactor*), ficando responsável pelo projeto, fornecimento e montagem dos equipamentos em regime de contrato *turn-key*, termo que literalmente significa “virar a chave”, pois se tratava de um artefato no melhor estilo de uma “caixa preta”: era fornecido pronto pelo fornecedor, sem que o comprador tivesse acesso às suas partes estruturais, e que omitia em contrato todos os detalhes técnicos e tecnológicos relacionados ao reator, restando ao usuário unicamente operar a função *on-off* do botão de funcionamento do artefato adquirido.

Para se compreender a opção pela tecnologia PWR, é preciso recuar até as origens da indústria nuclear. Como resultados das atividades desenvolvidas pelo Projeto Manhattan, havia grandes quantidades de urânio enriquecido acumuladas nos laboratórios militares norte-americanos após a fabricação das bombas atômicas utilizadas no final da 2ª. Grande Guerra Mundial. Para utilizar esse tipo de urânio, a nascente indústria nuclear americana direcionou seus esforços no sentido de construir e comercializar os reatores a água pressurizada. Subsidiadas diretamente pelo Estado, as empresas *Westinghouse*, *General Electric*, *Babcock & Wilcox* e *Combustion Engineering* constituíram o primeiro grande oligopólio do setor nuclear, credenciando-se para o atendimento das necessidades mundiais no tocante à construção de reatores PWR, que em pouco tempo dominaram o cenário nuclear mundial.

Os primeiros clientes foram os países da Europa Ocidental que, após o domínio da tecnologia nuclear via cooperação técnica, administrativa e – não raro – financeira com as empresas norte-americanas, credenciavam-se à comercialização dessa linha de reatores com as demais nações interessadas a se iniciarem nos domínios da energia nuclear. Para se ter uma noção da supremacia norte-americana no tocante à exportação de reatores nucleares, até 1971, ano em que o Brasil fechou o acordo com a *Westinghouse* para a construção da usina de Angra I, os EUA haviam fornecido 90% do total de reatores comprados pelas diversas nações do mundo.

Sob a justificativa de apresentar o melhor desempenho dentre as usinas a água leve¹⁹ em funcionamento no mundo, com altos índices de economia e confiabilidade, a venda da usina do tipo PWR ao Brasil deixou evidente, no contrato assinado, as salvaguardas impostas pelo governo americano à transferência da tecnologia nuclear.

¹⁹ O termo *água leve* (H₂O) designa o material (*moderador*) utilizado para reduzir a energia dos nêutrons decorrentes da fissão do urânio (*combustível*), de modo a aumentar o controle da reação. São utilizados como moderadores a água comum (*água leve*), a *água pesada* (D₂O, constituída por deutério, isótopo do hidrogênio com um próton e um nêutron em seu núcleo) ou a grafita. Por convenção, o *moderador* determina a classificação dos reatores nucleares.

Devido às barreiras impostas à transferência da tecnologia nuclear, ao fato de o Brasil ter se tornado dependente do urânio enriquecido nos EUA para o reator e, ainda, à imposição dos EUA para que Angra I ficasse sob a salvaguarda da IAEA, as autoridades brasileiras engendravam outras formas de viabilizar a almejada aquisição da tecnologia nuclear e, se possível, abafar as críticas de setores da sociedade contrários à aquisição de Angra I.

Surgia, assim, um dilema técnico: desenvolver a tecnologia de urânio natural, o que poderia ser feito de maneira independente, ou continuar buscando a tecnologia de urânio enriquecido – mais cara e avançada –, mas com ajuda externa. Políticos e tecnocratas brasileiros elegeram a segunda opção, mas, dado que os EUA tinham sido um provedor incerto, o Brasil se viu forçado a procurar a cooperação de outro país.

O entorno histórico desse quadro mostrava duas realidades contrastantes: no ano de 1973, o Brasil vivia o auge de um período de rápido crescimento, chamado de “Milagre Econômico”, enquanto o mundo era submetido, numa análise simplista, à decisão dos países árabes detentores do controle dos preços do barril do petróleo em elevar o valor do produto a níveis estratosféricos, sinalizando a ocorrência de uma crise energética mundial iminente.

A um custo social elevado, o PIB brasileiro crescia, desde 1968, à média de 11% ao ano, trazendo consigo o aumento no consumo nacional de energia elétrica. Desse modo, alternativas para o provimento da energia elétrica necessária ao desenvolvimento do país precisavam ser encontradas com urgência.

Um acordo internacional de cooperação é assinado. Alguém discorda?

No quadro de época descrito, a possibilidade de o Brasil ampliar suas fontes de geração de energia a partir da importação de usinas termonucleares ganhou ainda mais força junto aos governantes do país, pois um levantamento encomendado pela Eletrobras a respeito do potencial hidrelétrico brasileiro à época subestimou a capacidade nacional de captação energética por meios hídricos, reforçando a tese de se buscar a eletricidade por meios diversificados.

A volatilidade dos preços do petróleo no mercado internacional, as necessidades energéticas de um país vivendo um momento de forte crescimento do seu PIB, a aparente falta de perspectiva de um aumento substancial das fontes hidrelétricas em curto prazo e os anseios do domínio da tecnologia nuclear foram os principais fatores que serviram como justificativas para os signatários do documento assinado em 27 de junho de 1975 pelo governo brasileiro: o Acordo Brasil – Alemanha

Ocidental sobre a cooperação dos usos pacíficos da energia nuclear, doravante referenciado somente como “Acordo”.

Prevendo até 1990 a construção de oito centrais nucleares a água leve – baseadas, portanto, no enriquecimento do urânio –, o objetivo final seria o domínio de todo o ciclo do chamado combustível nuclear. Para tanto, seria necessário contornar as limitações impostas pelo governo norte-americano quanto à transferência da tecnologia nuclear, às quais a Alemanha Ocidental não estava imune. Pressões por parte dos EUA não tardaram a surgir, com ameaças de retaliações direcionadas a ambas as partes pelo governo do então presidente Jimmy Carter.

Nos termos do Acordo, cabia à Alemanha Ocidental assegurar o fornecimento de urânio para as usinas, efetivar um contrato de exportação de equipamentos e serviços nucleares que garantisse aos germânicos o *status* de licenciadores e fornecedores industriais no setor nuclear, além de, principalmente, propor uma estratégia para o enriquecimento de urânio a ser compartilhada com os cientistas brasileiros envolvidos no programa. É importante frisar que o Brasil possuía grandes reservas de urânio já conhecidas naquela época.

Por força do Acordo, foram criadas diversas empresas brasileiras que serviriam de subsidiárias às suas similares alemãs, destinadas à mineração, ao beneficiamento e enriquecimento do urânio e, ainda, à construção de equipamentos pesados, todas subordinadas às Empresas Nucleares Brasileiras (Nuclebrás), criada por decreto federal em dezembro de 1974, mesmo antes da assinatura do Acordo. Pelo lado alemão, a responsabilidade ficou a cargo da *Kraftwerk Union* (KWU), empresa cujo controle acionário pertencia ao grupo *Siemens*.

Para propor, implementar e coordenar um programa de recursos humanos visando atender à nova política nacional de energia nuclear e, em especial, formar e treinar o corpo de profissionais necessários para o trabalho nas usinas, foi criado o Pronuclear (Programa de Recursos Humanos para o Setor Nuclear).

Para efetivamente promover a transferência de conhecimentos tecnológicos e científicos, seria razoável imaginar que toda essa infraestrutura estaria em grande parte – do planejamento à execução, passando por etapas intermediárias de ajustes e redirecionamento de ações – a cargo de representantes da comunidade científica atuantes nos diversos estados da federação.

Contudo, não foi bem assim que as coisas aconteceram...

A determinação das autoridades governamentais brasileiras em dominar a tecnologia nuclear encontrou na comunidade científica estabelecida no país o ceticismo de quem não identificava nessa ação os elementos efetivamente

necessários à geração de políticas e práticas compatíveis com as intenções declaradas. Até porque poucos foram os cientistas efetivamente consultados acerca dos méritos e deméritos das opções relacionadas à assinatura do Acordo.

Uma prática que pode ser observada inclusive nos dias atuais é a insistência dos governantes brasileiros em colocar políticos e tecnocratas à frente de ministérios e autarquias públicas, privilegiando conchavos com partidos políticos em detrimento do mérito e da formação dos escolhidos como gestores para essas instituições.

Um claro exemplo de profissional beneficiado por esse tipo de conduta foi Paulo Nogueira Batista (1930 – 1994), graduado originalmente em Direito e diplomata de carreira, responsável direto pela articulação do Acordo, que assumiu o cargo de presidente da Nuclebrás logo após sua criação.

Muitos cientistas (físicos, em sua maioria) manifestaram suas críticas e reservas envolvendo os detalhes do Acordo. O quadro a seguir foi elaborado com o objetivo de apresentar algumas dessas personalidades e, em especial, sistematizar de forma sucinta suas principais críticas em relação ao Acordo.

Cientista	Formação e Carreira Profissional	Principais Críticas ao Acordo
Mario Schenberg (1914 – 1990)	Físico, professor, político, crítico de arte e ex-presidente da Sociedade Brasileira de Física (SBF)	Precariedade da política de formação de pessoas para a área nuclear, gerando uma confusão entre importação de equipamentos e a efetiva aquisição da tecnologia nuclear
Marcelo Damy de Souza (1914 – 2009)	Físico, professor, ex-diretor do Instituto de Física da Unicamp e primeiro presidente do Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares (IPEN)	A política de desenvolvimento da ciência e da tecnologia no Brasil estaria sendo decidida por políticos e diplomatas, sem a devida consulta a cientistas e técnicos com reconhecida competência no assunto
José Leite Lopes (1918 – 2006)	Físico, professor de diversas universidades (no Brasil e no Exterior), fundador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF)	Equívoco na escolha de não-especialistas (diplomatas) para decidirem os aspectos relacionados à constituição da infraestrutura científica e técnica de uma tecnologia nova e de importância estratégica para o desenvolvimento da nação
José Goldemberg (1928 –)	Físico, professor, político, ex-reitor da Universidade de São Paulo (USP), membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC)	Descompasso e inversão de prioridades entre o programa de capacitação de técnicos (I) e o processo de transferência tecnológica (II), defendendo que o segundo destes só poderia ocorrer após (ou, em concomitância) com a implementação do primeiro
Luiz Pinguelli Rosa (1942 –)	Físico, professor, engenheiro, diretor da Coordenadoria de Programas de Pós-Graduação em	Inconsistência entre os resultados do levantamento do potencial hidrelétrico brasileiro e os custos relativos de

	Engenharia (COPPE–UFRJ) e ex-presidente da Eletronuclear	instalação de usinas hidrelétricas e termonucleares, segundo a necessidade de potência instalada projetada para as décadas seguintes
Luis Carlos de Menezes (1943 –)	Físico, educador, professor da USP	Interesse velado dos militares nas aplicações bélicas da tecnologia nuclear, reforçado pelos indícios da existência de um programa paralelo de pesquisas nessa área, desenvolvido secretamente pelas Forças Armadas no final dos anos 1970

Quadro 6: Cientistas opositores ao Acordo, suas formações e ocupações profissionais e principais pontos criticados.

A despeito das críticas, o governo do presidente Ernesto Geisel (1974 – 1979) obteve êxito em angariar o apoio e a colaboração de alguns cientistas, no sentido de dar sustentação técnica às decisões necessárias para a manutenção e os redirecionamentos dos termos do Acordo. Em contrapartida, como via de regra, esses estudiosos acabaram por ocupar cargos de confiança e destaque no governo. Portanto, suas opiniões a respeito dos méritos e equívocos envolvendo a opção nuclear realizada naquele contexto de época devem ser relativizadas, levando-se em conta, com ainda mais rigor, as particularidades das relações entre ciência e poder envolvidas nesse tipo de conjuntura.

Dentre essas personalidades, dois cientistas merecem destaque. O primeiro deles é José Israel Vargas (1928 –), químico especialista em estudos nucleares, professor da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e político, que ocupou o cargo de Secretário de Tecnologia Industrial do Ministério de Indústria e Comércio durante o governo do presidente João Figueiredo (1979 – 1985). Defensor do Acordo, por considerá-lo um “instrumento de modernização do país”, justificou parte do fracasso dessa iniciativa governamental ao mencionado programa “Átomos pela Paz”, que, sob sua ótica, teria atrasado as pesquisas nucleares desenvolvidas no país. No final dos anos 1980, após o final da ditadura civil-militar, Israel Vargas foi o presidente da Comissão de Avaliação do Programa Nuclear Brasileiro. Dentre as principais recomendações resultantes da chamada “Comissão Vargas”, destacam-se a manutenção do Programa Nuclear Brasileiro e a continuidade dos trabalhos de construção das usinas Angra II e Angra III. Passados quase 30 anos da publicação desse documento – sendo que, entre 1992 e 1999, Israel Vargas ocupou o cargo de Ministro de Ciência e Tecnologia –, a construção de Angra III segue indefinida.

O segundo cientista a ser destacado é Rex Nazaré Alves (1938 –), físico especialista em Engenharia Nuclear, professor emérito do Instituto Militar de Engenharia (IME) e ex-presidente da CNEN. Ainda que não tenha participado

diretamente da criação da Nuclebrás e, segundo suas declarações, não tenha sido consultado sobre os detalhes do Acordo na ocasião de sua assinatura, Rex Nazaré teve seu nome fortemente ligado ao desenvolvimento da tecnologia nuclear no país, principalmente no período posterior à assinatura do Acordo. Ele também teria sido responsável direto pelo surgimento do chamado “Programa Nuclear Paralelo” que, por meios obscuros, logrou êxito em tornar o Brasil detentor dos conhecimentos necessários para o processo de enriquecimento do urânio a ser utilizado como combustível para as usinas nucleares. Sempre que questionado, Rex Nazaré fez questão de enfatizar a importância e as realizações do Pronuclear no sentido de formar um expressivo e qualificado contingente de especialistas brasileiros na área nuclear. Como sinal de sua influência e trânsito privilegiado junto às esferas do poder, Rex Nazaré ocupou, dentre diversos outros cargos públicos de relevância, a chefia do Departamento de Tecnologia da Agência Brasileira de Inteligência (Abin), o serviço de inteligência civil organizado após a redemocratização do Brasil.

Uma breve comparação entre os posicionamentos dos críticos e defensores do Acordo revela algumas aparentes contradições em relação ao que é declarado pelos representantes desses dois grupos.

Por exemplo, a forma como foi conduzido o Pronuclear, e os respectivos resultados alcançados, não encontram sintonia nas falas de Mario Schenberg e José Goldemberg com aquilo que declara Rex Nazaré; por outro lado, enquanto Luiz Pinguelli Rosa segue até os dias de hoje contrário à continuidade da construção das usinas nucleares, em grande parte por acreditar nas hidrelétricas como solução suficiente para os problemas de geração de energia elétrica no Brasil, José Israel Vargas endossou formalmente a necessidade de se manter a construção das usinas nucleares como prioridade para a diversificação da matriz energética e, também, para o desenvolvimento tecnológico do país.

Concluindo o histórico aqui descrito, dois importantes desdobramentos do Acordo são detalhados a seguir, evidenciando a não rara possibilidade dos resultados das políticas públicas de investimento em ciência e tecnologia de uma nação serem obtidos de uma forma bem distante daquela originalmente planejada.

Do Pronuclear ao Programa Nuclear Paralelo: o oficial se torna oficioso

Conforme mencionado anteriormente, em sua origem, o Pronuclear foi concebido para suprir as necessidades nacionais imediatas e futuras de formação de recursos humanos para a área nuclear, com a prioridade de viabilizar a execução dos objetivos que integravam o Acordo Teuto – Brasileiro.

Parâmetro crítico do programa, a disponibilidade de mão de obra especializada em nível técnico e acadêmico no país foi levantada junto a algumas das principais instituições nacionais de ensino superior e médio. Confrontados com as estimativas e as metas estabelecidas pelo governo, os dados desse levantamento indicaram a necessidade de formação de um total de quase 10.000 mil profissionais, nos níveis superior e técnico.

Tendo em vista essa demanda, Paulo Nogueira Batista, enquanto presidente da Nuclebrás, declarou que a meta de independência tecnológica deveria se estender por, no máximo, 10 anos, exigindo um expressivo esforço na área de formação de recursos humanos. Em outras palavras, seria necessário formar muita gente – e com excelência – em um intervalo de tempo exíguo.

Para tanto, o planejamento visando obter desse feito previa a:

- Criação de cursos de mestrado e doutorado no país, e envio de pessoal para obter títulos equivalentes no exterior;
- Criação de cursos de especialização e aperfeiçoamento, visando à formação segundo especificações oferecidas pela Nuclebrás;
- Adaptação de currículos de cursos de graduação quanto a disciplinas de formação profissional;
- Criação de cursos de formação de tecnólogos;
- Criação de cursos de nível médio, para a formação de técnicos; e
- Implementação de treinamentos em serviço para todos os níveis de formação.

Essa última alternativa mostrou-se, ao longo dos anos, uma prática comum, denominada *training on the job*, motivo de parte das críticas mencionadas anteriormente. Nessa modalidade de treinamento, profissionais brasileiros foram enviados para a Alemanha Ocidental para acompanhar seus colegas alemães na execução de tarefas do dia-a-dia da indústria nuclear para, assim procedendo, incorporarem os conhecimentos das principais especificidades de cada atividade individual, em “cursos”, na média, de curtíssima duração.

Pode-se ponderar que a transferência desses conhecimentos baseava-se na eventual empatia que deveria surgir entre “instrutores” e “aprendizes”, a despeito das evidentes diferenças socioculturais existentes entre os técnicos alemães e brasileiros.

Considerando que grande parte dos técnicos necessários ao programa nuclear não eram necessariamente “engenheiros nucleares”, foram estabelecidos pela CNEN contatos com várias universidades brasileiras, nas quais se identificavam nichos de excelência em certas áreas. Após uma visita de avaliação junto à instituição de ensino destacada, era firmado convênio para incluir nos programas de mestrado já existentes

algumas disciplinas que dessem aos alunos noções do que era uma central nuclear e, também, quais seriam os requisitos adicionais da área nuclear em relação à sua área de atuação (Engenharia Civil, Geologia, Física, Metalurgia, Química etc.).

Para atrair os alunos para esse esforço adicional, eram concedidas bolsas de maior valor do que as normais, e aventada uma possível contratação por algum órgão do programa nuclear após a conclusão do curso. Também os professores desses cursos eram incentivados a participar do programa nuclear através de trabalhos de consultoria, muitas vezes transformados em temas de dissertações dos alunos de mestrado. A CNEN dava suporte ao programa promovendo também a vinda de técnicos alemães que proferiam palestras ou minicursos nessas universidades, abordando temas mais específicos da tecnologia alemã de centrais nucleares ou do ciclo do combustível.

Os programas de mestrado se subdividiam em duas áreas principais: Mestrado em Engenharia Nuclear e o chamado “Mestrado Convencional com Complementação Nuclear”. Os cursos ligados a esta última vertente relacionavam-se às diferentes áreas de engenharia ou, ainda, geologia ou meteorologia, nos quais eram introduzidas disciplinas específicas referentes à área nuclear. Essa prática ficou conhecida como “Chapéu Nuclear” entre os profissionais da área.

Toda essa estrutura demandou e consumiu elevados montantes financeiros, injetados gradualmente pelo programa entre 1976, início da vigência do Pronuclear, e 1980, ano em que reflexos de uma conjunção de acontecimentos, no país e no exterior, geraram uma forte queda nos aportes de dinheiro destinados ao Pronuclear.

Nesse contexto, ao menos três fatores – de naturezas distintas – são dignos de destaque:

- ✓ Acidente nuclear em uma usina norte-americana: em 1979, falhas no sistema de refrigeração do reator nuclear da usina de energia elétrica de Three Miles Island, no estado da Pensilvânia, provocaram o pior acidente nuclear em instalações comerciais ocorrido nos EUA. Houve superaquecimento e derretimento parcial do núcleo do reator, acompanhado da produção de gás hidrogênio, o que poderia ter causado uma explosão de consequências devastadoras, pois geraria uma grande dispersão de radioatividade no ambiente. O acidente aumentou o interesse dos cidadãos em relação aos perigos associados à atividade nuclear. Os elevados níveis de desconfiança e receio retardaram a construção de novas usinas termonucleares, não somente nos EUA;

- ✓ Nova elevação dos preços do barril de petróleo: entre 1978 e 1979, o valor unitário do barril de petróleo mais que dobrou, coincidindo com o desaquecimento sofrido pela economia brasileira no final da década de 1970;
- ✓ Alemanha Ocidental não cumpre o acordado: a tecnologia de enriquecimento de urânio denominada *jet nozzle* (“jatos centrífugos”), oferecida ao Brasil pelos técnicos alemães como alternativa à ultracentrifugação – proibida pelos norte-americanos de ser comercializada –, mostrou-se complexa e ineficaz, retardando sobremaneira a aplicação do combustível enriquecido nos reatores. Dessa forma, as pessoas já formadas pelo Pronuclear (dentro ou fora do país) ficavam ociosas, impedidas de ocupar postos que exigissem a aplicação dos conhecimentos recém-adquiridos em situações concretas. Nem as empresas do grupo Nuclebrás, tampouco as instituições de ensino da área nuclear, conseguiam absorver de forma efetiva tais profissionais, em função da desaceleração na execução do Acordo. Diante desse quadro, muitos desses profissionais migraram para a iniciativa privada, no Brasil e no Exterior.

Esse complexo quadro acabou por intensificar, entre os militares, que ainda estavam no poder, a defesa de um programa independente do oficial (na clandestinidade e sem fiscalização internacional) que desenvolvesse a tecnologia do enriquecimento do urânio pelo método da ultracentrifugação.

E assim ocorreu.

Membros das Forças Armadas uniram esforços com cientistas de sua confiança – com ênfase para o já mencionado Prof. Rex Nazaré Alves – e criaram o Programa Nuclear Paralelo (PNP), ganhando força e gradual presença nos noticiários até o seu reconhecimento oficial, em maio de 1988. Naquele ano, o presidente José Sarney formalmente inaugurou instalações para o enriquecimento de urânio, na presença do então presidente da Argentina, Raúl Alfonsín.

Há algumas hipóteses que tentam explicar os meios empregados pelo PNP para tornar o Brasil conhecedor do ciclo completo do urânio, geralmente associadas à compra sigilosa dos segredos sobre essa tecnologia junto a cientistas europeus. Porém, uma análise mais precisa e fiel do histórico desse programa não é tarefa das mais simples, por ter ocorrido no seio das Forças Armadas e, predominantemente, em um período em que o país era governado por uma ditadura militar. Todavia, passadas quatro décadas, há uma significativa quantidade de trabalhos publicados que permitem, ao menos, conferir razoável fidedignidade à tese de que, entre 1979 e 1986, o PNP tornou-se o novo destino de boa parte das verbas originalmente destinadas ao programa nuclear “oficial”, decorrentes da assinatura do Acordo. Um dos indícios

nesse sentido foi a posterior descoberta de contas bancárias (as chamadas “contas Delta”) ligando autoridades militares da época aos orçamentos oficiosos – contudo astronômicos – endereçados ao programa nuclear dos militares.

Dessa maneira, e articuladas por meios obscuros, as ações do PNP lograram êxito em constituir a infraestrutura suficiente para que os esforços de cientistas brasileiros desse origem ao domínio de técnicas de enriquecimento do urânio, em teores suficientes para a alimentação dos reatores de uma usina termonuclear.

Situado na cidade paulista de Iperó, o Centro Experimental de Aramar pertence à Marinha do Brasil e abriga em suas instalações um conjunto de ultracentrífugas, responsáveis pelo enriquecimento isotópico do urânio utilizado nas usinas de Angra I e II. Este complexo militar recebe atualmente visitas periódicas da IAEA, por força da já mencionada assinatura do TNP pelo governo brasileiro. Porém, o acesso à área que contém as ultracentrífugas segue vedado aos inspetores da IAEA.

Assim, com o desenrolar do PNP ao longo da primeira metade dos anos 1980, os recursos destinados ao Pronuclear foram rareando drasticamente. Na prática, o Pronuclear encerrou suas atividades em 1986, sendo pouco tempo depois incorporado oficialmente ao PNP, rebatizado com o nome de Programa Nuclear da Marinha, momento em que o governo do presidente José Sarney transformava a Nuclebrás nas Indústrias Nucleares Brasileiras (INB). A principal justificativa oficial para levar o centro de enriquecimento do urânio para Aramar foi a almejada – há tempos – construção de um submarino nuclear, destinado a patrulhar o vasto litoral brasileiro.

Nessa mesma época, a falência do Acordo Nuclear Brasil – Alemanha Ocidental foi reconhecida, iniciando-se uma etapa de negociações visando à manutenção dos principais compromissos firmados e a tentativa de minimização dos prejuízos por ele causados.

Por fim, vale ressaltar que, das oito usinas previstas na assinatura do Acordo para entrarem em funcionamento até 1990, apenas uma (Angra II) foi efetivamente construída e entrou em operação; ainda assim, isso ocorreu somente em 2000, e após inúmeros percalços e um estouro monumental em seu orçamento inicial.

Fontes consultadas

KURATOMOTO, R. Y. R.; APPOLONI, C. R. Uma breve história da política nuclear brasileira. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 379-392, 2002.

PRONUCLEAR – **Relatório de atividades 02/80 do Programa de Recursos Humanos para o Setor Nuclear**, CNEN, 1980.

RUIVO, H. M. **Independência tecnológica na área nuclear: a relevância do programa nuclear da marinha**. Monografia. Escola de Guerra Naval, 2007.

SCHMIEDECKE, W. G. **O papel do Pronuclear (1976-1986) na formação de recursos humanos para a área nuclear**. Dissertação de Mestrado. PUC-SP, 2006.

VARGAS, J. I. **José Israel Vargas I** (depoimento, 1977). Rio de Janeiro, CPDOC, 2010.

3.3 – Detalhamento do episódio histórico exemplar elaborado

Os critérios que servem de referência para a identificação de uma vertente historiográfica procuram abranger uma ampla gama de possibilidades. De acordo com os propósitos das discussões a serem promovidas, seleciona-se um episódio histórico e procura-se explorá-lo a partir da articulação e do encadeamento de fatos, eventos e ideias que evidenciem os pontos de interesse.

Com base nessa realidade, um único episódio histórico elaborado no contexto deste trabalho não teria condições, nem a pretensão, de contemplar todos os critérios caracterizadores da tendência historiográfica escolhida para servir de referência para a almejada aproximação entre a HC e as aulas de Física – no caso, a já detalhada MHC.

Feita a ressalva, são apresentados a seguir alguns critérios da MHC acompanhados por breves comentários a respeito de características associadas a partes ou aspectos do episódio histórico elaborado que se relacionam a tais critérios.

Critério: Análise pontual e minuciosa de estudos de caso, neles priorizando a investigação aprofundada de algumas personalidades, períodos ou acontecimentos específicos

O conteúdo científico mais claramente associado ao episódio descrito é a *Física Nuclear*, ramo da Física que possui inúmeras aplicações no âmbito das diversas frentes de pesquisa exploradas a partir de seus fundamentos. Uma tentativa de se contar uma história da física nuclear que abrangesse todas essas investigações e, também, as tecnologias delas decorrentes, seria uma tarefa hercúlea e, tratando-se dos propósitos didáticos de aplicação desse material, fadada a oferecer informações pontuais e desarticuladas, que pouco valor e sentido teriam para os alunos. No contexto do ensino de ciências na Escola Básica, a qualidade das articulações realizadas é mais importante que a quantidade de informações fornecidas, sendo fundamental que o aluno consiga associar as informações àquilo que está presente em seu cotidiano.

O episódio sobre o *Acordo* partiu da descrição do cenário mundial em que um particular fenômeno da *Física Nuclear* foi descoberto e explorado; na sequência, foram

apresentados reflexos no Brasil dessa descoberta, culminando com a escolha da Alemanha Ocidental como provedora dos conhecimentos e da tecnologia a serem estabelecidos em nosso país.

Por se tratar de um estudo de caso, no fundo versando sobre o uso da *Energia Nuclear* para a geração de eletricidade, não foram explorados fatos e aspectos da vida de personalidades relacionados a frentes de pesquisa sem relação direta com essa aplicação. Tais informações serviriam meramente como curiosidades e apêndices, desnecessários ao processo de delineamento dos fatos que geraram as consequências que, com efeito, são o mote das análises promovidas. Portanto, o texto não menciona, por exemplo, o conhecido físico César Lattes e os eventos relacionados à descoberta do pión, lugar comum nos relatos feitos sobre a história da Física Nuclear no Brasil. De forma equivalente, os trabalhos de Mario Schenberg, Marcelo Damy e José Leite Lopes sobre partículas nucleares também não foram mencionados. Porém, seus posicionamentos acerca do *Acordo* e suas consequências – opiniões de fato relacionadas ao estudo realizado – foram destacados, de modo a comporem o quadro de críticas destacado.

Elaborar um estudo de caso baseado na descrição de um episódio histórico exige, portanto, fazer escolhas, que devem estar em alinhamento com o assunto a ser explorado. Do contrário, corre-se o risco de se oferecer aos alunos informações meramente alegóricas, sem efetiva função no relato realizado.

Critério: *Apresentação das ideias atreladas ao contexto sócio-histórico-cultural em que foram propostas*

O histórico da assinatura do *Acordo* é repleto de evidências dos desacertos e equívocos cometidos por meio dessa ação, conforme destaca o texto. Uma delas, de capital influência na derrocada do *Acordo*, foi a insistência dos responsáveis brasileiros pela condução dos termos desse instrumento em acreditar que os alemães estivessem realmente interessados em tornarem viável o método de enriquecimento do urânio, denominado *jet nozzle*.

Conforme foi exposto, pressões exercidas sobre a Alemanha pelos EUA (e demais nações sob influência dos norte-americanos) fizeram os cientistas germânicos buscarem – ou ao menos forjarem – uma forma alternativa de enriquecer o urânio a ser utilizado nas usinas brasileiras.

Ainda que não detalhado no texto elaborado para esta tese, o *jet nozzle* parecia apresentar – aos olhos dos tecnocratas ávidos por dar legitimação à assinatura do *Acordo* – um bom potencial para realizar a separação do U-235 do U-

238, pois seu princípio de funcionamento era equivalente ao presente nos demais métodos já consagrados. Contudo, o desenvolvimento dessa técnica, realizado unicamente pelos cientistas alemães destacados para tal objetivo, exigiria anos de pesquisa, que não estavam previstos nos termos do *Acordo*. Vale ressaltar que a *difusão gasosa* e a *ultracentrifugação*, processos de eficácia já comprovada, foram desenvolvidos em meio ao esforço concentrado dos milhares de cientistas e técnicos envolvidos no Projeto Manhattan.

Portanto, o *jet nozzle* acabou sendo descartado, mas não sem antes consumir recursos preciosos do Tesouro Nacional e acabar por atrasar ainda mais o domínio do nosso país envolvendo a tecnologia nuclear. Desse modo, as particularidades do contexto histórico em que foi proposta não permitem afirmar categoricamente que aquela técnica – oriunda de uma investigação feita em condições desfavoráveis para seus executores – viria (ou não) a oferecer resultados positivos para o fim a que se destinava, que poderiam se mostrar tão ou mais eficazes que os já conhecidos.

Critério: *Valorização das controvérsias, destacando o papel desempenhado por diversas personalidades na construção da ciência*

Há duas possibilidades no texto para se discutir esta característica da prática científica.

Na primeira delas, associada à breve narrativa feita sobre o histórico da fissão nuclear, são mencionadas duas personalidades (Meitner e Frisch) que ofereceram importantes contribuições teóricas à descoberta desse processo, sem na época receberem o efetivo reconhecimento. Nesse sentido, basta lembrar que somente Hahn recebeu o Prêmio de Nobel de Química pela descoberta.

A segunda possibilidade está relacionada à forma pela qual o Brasil conseguiu adquirir o domínio do ciclo completo do urânio. Não foi uma conquista tecnológica gerada por meio do trabalho dos cientistas e técnicos atuando oficialmente para o desenvolvimento do país. O estudo de caso mostrou que tal triunfo adveio das ações de personalidades trabalhando secretamente para setores do Governo, sem a anuência da comunidade científica estabelecida formalmente e, principalmente, sem o conhecimento da sociedade civil, responsável indireta pelo financiamento do programa nuclear paralelo.

Para efeitos didáticos, o mais relevante nesses dois casos distintos é a possibilidade de o professor discutir o papel desempenhado por personalidades desconhecidas (ou pouco conhecidas) em importantes resultados gerados por meio da prática científica, ao apresentá-la bem menos “exata” e determinística que o habitualmente divulgado.

Critério: *Realce à influência de outros tipos de fatores externos (de natureza psicológica, religiosa e social, por exemplo) na prática científica*

O êxito do Projeto Manhattan em produzir as primeiras bombas atômicas da história deve, em grande parte, ser atribuído ao trabalho de um grupo de cientistas que só pôde ser reunido em torno de um objetivo comum em função do combate às forças do Eixo (Alemanha, Itália e Japão). A imigração forçada para os EUA de vários cientistas europeus de renome, tais como Enrico Fermi (1901 – 1954), Leó Szilárd (1898 – 1964), Niels Bohr (1885 – 1962) e Edward Teller (1908 – 2003), foi determinante para os fins do Projeto Manhattan. Foi o trabalho conjunto dessas personalidades com cientistas estadunidenses que possibilitou o enorme desenvolvimento científico observado, alcançado em um espaço de tempo incomum na história da humanidade.

A conjunção de ideias e esforços desses cientistas não ocorreu de forma natural, ou seja, não foi determinada pelo alinhamento de interesses oriundos das pesquisas em ciências desenvolvidas de forma individual e anterior às mudanças provocadas pela guerra. Não é possível fazer uma previsão do que esses cientistas ofereceriam à sociedade se prosseguissem em seus destinos e pesquisas no período em que se dedicaram ao Projeto Manhattan; contudo, é extremamente improvável que lograssem êxito – ou, no limite, tivessem interesse – em produzir artefatos nucleares do porte das bombas lançadas sobre o Japão, em 1945.

Esse é um exemplo de influência, advinda do meio social, nos rumos tomados pela ciência e seus produtos, evidenciando que o cientista nem sempre guia suas pesquisas em uma direção por ele escolhida ou pré-determinada. Teller, por exemplo, era conhecido no final da década de 1930 por seus trabalhos em Química, utilizando *Teoria de Grupo* para explicar fenômenos eletrônicos, até então sem qualquer relação com o fenômeno da *Fissão Nuclear*, que já era estudado pelo grupo de Fermi.

Além de ter sido concebido de forma a esclarecer detalhes de alguns critérios historiográficos contemplados em sua elaboração, o episódio histórico sobre o *Acordo* também foi idealizado com o objetivo de apresentar aos professores em formação alternativas para a superação, ou ao menos mitigação, de alguns dos entraves às tentativas de se levar a HC às salas de aula.

Nesse sentido, os respondentes do QD e do QF elegeram algumas dificuldades como mais pertinentes, para as quais aponto detalhes do estudo de caso que buscam enfrentá-las.

I) Sobre o trabalho com fontes primárias: dependendo do assunto a ser abordado, um trabalho com rigor historiográfico exigiria a consulta a fontes primárias produzidas ao longo do desenvolvimento daquele específico conjunto de conhecimentos científicos. Todavia, considerando serem poucos os docentes de Física da escola básica que dominam as técnicas e dispõem dos recursos necessários a essa ação, aqueles interessados em utilizar a HC com suficiente precisão historiográfica teriam como um bom ponto de partida os trabalhos (fontes secundárias) realizados por pesquisadores que se aprofundaram no estudo do tema em questão. No exemplo do *Acordo*, a dissertação de mestrado de Schmiedecke (2006) exemplifica bem esse recurso, por se tratar de um trabalho que partiu da análise de documentos originais produzidos pelos idealizadores do *Acordo* e, principalmente, do Pronuclear. O desdobramento da bibliografia utilizada na composição desse tipo de trabalho é uma boa opção para o docente reconhecer importantes nuances do assunto a ser tratado, capazes de gerar e sustentar as discussões a serem promovidas em sala de aula.

A escolha de um episódio da CN, como é o caso do *Acordo*, é outro fator que também pode ser útil ao docente que não dispõe de sólidos conhecimentos de idiomas distintos do português. Procedendo assim, o professor encontraria maior facilidade para localizar, interpretar e interagir culturalmente com as informações buscadas. O fato de a história da ciência brasileira ser muito mais recente que a de diversos outros países pode ajudar a limitar as frentes de busca a serem exploradas inicialmente.

II) Sobre limitações impostas pelo tempo didático: se o objetivo for otimizar o tempo disponível em sala de aula, o primeiro passo seria a elaboração prévia de um episódio histórico (em texto, vídeo etc.) pelo docente. Por mais trabalhoso que seja, esse processo permite ao docente selecionar os principais assuntos que pretende discutir em aula. Adicionalmente, a elaboração de uma síntese desse material, contendo no máximo duas páginas, também é um recurso destinado a otimizar o tempo didático, oferecendo aos alunos uma noção generalizada dos principais pontos abordados pelo material original.

III) Sobre a escassez de materiais de cunho didático: como comentado no capítulo 1, os materiais disponíveis para o docente tornar a HC presente em suas aulas não têm a mesma sistematização dos conteúdos programáticos desenvolvidos nos livros didáticos ou nos materiais elaborados pelos diversos sistemas de ensino presentes no país. A questão das atividades, conforme sugeridas na próxima subseção deste capítulo, é outra lacuna que só poderá ser preenchida por meio da iniciativa e do empenho do docente em elaborar suas próprias ações.

Com esse propósito, a consulta às fontes utilizadas na elaboração do episódio histórico sobre o *Acordo* revela a existência de periódicos, trabalhos de pós-graduação, *sites* de universidade e órgãos públicos e não governamentais, e outros documentos de fácil acesso que oferecem informações fidedignas para os docentes interessados na constituição de seus próprios materiais e recursos didáticos. No caso específico do texto sobre o *Acordo*, em grande parte elaborado com base na minha dissertação de mestrado, há uma expressiva quantidade de referências extraídas de *sites* da *internet*, bem como documentos originais referentes ao Pronuclear e relatos de cientistas e pesquisadores publicados em livros e artigos.

IV) Sobre a ausência de hábitos de leitura dos alunos: a síntese do texto elaborado, que, como já destacado, poderia ser apresentada em duas páginas (Apêndice D), é uma forma de se minimizar esse problema, evitando que o aluno se disperse ao realizar a leitura. Se o tema escolhido for abordado com concisão e relevância na síntese, é possível despertar o interesse do aluno para a posterior leitura da íntegra do episódio elaborado.

Feitos os esclarecimentos e ponderações acerca da constituição dos episódios históricos, passo a descrever as onze atividades elaboradas com o intuito de exemplificar formas de interlocução entre a HC e outros recursos de cunho didático em situações concretas de sala de aula.

3.4 – Sugestões de usos do episódio histórico produzido em situações didáticas

Realizada a elaboração do episódio histórico, o desafio do professor passa a ser encontrar maneiras de articular o uso desse material – em situações de aula – com outros recursos didáticos disponíveis para o desenvolvimento dos conteúdos programáticos da Física.

Considerando a importância de se respeitar as características e contingências de cada contexto em que os docentes encontram-se inseridos profissionalmente, optei nesta tarefa por oferecer um conjunto de sugestões alinhadas com os possíveis conteúdos programáticos de Física (para a Escola Básica) existentes, apresentando materiais e atividades didáticas voltados ao desenvolvimento dos temas e evidenciando os recursos didáticos envolvidos.

Pelo exposto, acredito que essas sugestões não possuem vínculos ou dependências formais com as diversas estruturas didático-pedagógicas já sistematizadas e consagradas na literatura especializada (tais como: sequências didáticas ou de ensino, unidades didáticas ou de ensino, planos de aula etc.), motivo suficiente para não ter sido feita qualquer referência nesse sentido.

Sustento essa opção no pragmatismo advindo da experiência que trago da docência na Escola Básica e, também, nos diversos anos como orientador de alunos da licenciatura em Física realizando estágios obrigatórios e participando de ações práticas do PIBID.

Como consequência, e sendo coerente com o tom de diálogo que procurei manter com os docentes neste trabalho, delego aos professores a escolha, a articulação e o encadeamento das estratégias e atividades aqui sugeridas, a serem feitas em sintonia com seus propósitos didáticos e, principalmente, com a dinâmica de cada cotidiano profissional.

Para a identificação dos conteúdos programáticos, utilizei como referência dois documentos oficiais: 1) As determinações contidas nas Orientações Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+: Ensino Médio), transcrevendo sempre a(s) respectiva(s) sugestão(ões) de desdobramento(s) do tema estruturador contemplado; e 2) Os conteúdos programáticos discriminados nos sumários de algumas coleções aprovadas na última edição do Guia do PNLD (2015).²⁰

Para detalhar e estruturar as sugestões de usos didáticos do episódio elaborado, são apresentados:

- 1º) Os conteúdos programáticos passíveis de serem contemplados pelas discussões decorrentes da leitura do episódio histórico e o detalhamento de cada atividade didática recomendada; e
- 2º) Um quadro-síntese ao final, organizando os conteúdos programáticos, as ferramentas e atividades didáticas recomendadas e, adicionalmente, as estratégias didáticas que poderiam ser exploradas em cada atividade (ou conjunto de atividades).

Conteúdos Programáticos

✓ *Energia: produção para uso social*

Desdobramentos do Tema Estruturador:

identificar os diferentes sistemas de produção de energia elétrica, os processos de transformação envolvidos e seus respectivos impactos ambientais, visando escolhas ou análises de balanços energéticos; [e] acompanhar a evolução da produção, do uso social e do consumo de energia, relacionando-os ao desenvolvimento econômico, tecnológico e à qualidade de vida, ao longo do tempo (BRASIL, 2002, p. 24).

Conteúdos Específicos: fontes de energia, transformações energéticas e impactos ambientais.

²⁰ Disponíveis, respectivamente, em: http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf e <http://www.fnnde.gov.br/programas/livro-didatico/guias-do-pnld/item/5940-guia-pnld-2015>. Acessos: 11 de jan. 2016.

✓ *Radiações e suas interações*

Desdobramentos do Tema Estruturador:

identificar diferentes tipos de radiações presentes na vida cotidiana, reconhecendo sua sistematização no espectro eletromagnético (das ondas de rádio aos raios gama) e sua utilização através das tecnologias a elas associadas (radar, rádio, forno de microonda, tomografia, etc.); compreender os processos de interação das radiações com meios materiais para explicar os fenômenos envolvidos em, por exemplo, fotocélulas, emissão e transmissão de luz, telas de monitores, radiografias (BRASIL, 2002, p. 29).

Conteúdos Específicos: ondas eletromagnéticas e interação radiação-matéria.

✓ *Energia nuclear e radioatividade*

Desdobramentos do Tema Estruturador:

compreender as transformações nucleares que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e em sistemas tecnológicos; conhecer a natureza das interações e a dimensão da energia envolvida nas transformações nucleares para explicar seu uso em, por exemplo, usinas nucleares, indústria, agricultura ou medicina; avaliar os efeitos biológicos e ambientais, assim como medidas de proteção, da radioatividade e radiações ionizantes (BRASIL, 2002, p. 29-30).

Conteúdos Específicos: decaimento radioativo, fissão e fusão nucleares, acidentes nucleares e modelo padrão.

Atividades Sugeridas

Temática da(s) aula(s): *Fontes de Energia, Transformações Energéticas e Impactos Ambientais*

Atividade 1

Indicar aos alunos a leitura da síntese do episódio histórico “Acordo Nuclear Brasil – Alemanha Ocidental: antecedentes, controvérsias e desdobramentos” (Apêndice D), preferencialmente com alguma antecedência em relação à aula destinada ao desenvolvimento da temática. Nesse momento, como forma de estabelecer ou dar continuidade à dinâmica voltada para o trabalho com textos abarcando episódios históricos, escolher um grupo de 2 a 4 alunos para ficar responsável pela leitura do texto original.

No início da primeira aula destinada ao trabalho com a síntese, os alunos desse grupo deverão apresentar à sala sua versão acerca do texto, explicando seu conteúdo e, em especial, detalhando para a classe alguns pontos importantes do texto original que eles consideram não terem sido suficientemente explorados pela síntese.

Concluída a exposição do grupo, é aberta para a classe uma rodada de perguntas, principalmente voltadas ao esclarecimento dos pontos destacados pelo

grupo, momento oportuno para o docente fazer suas primeiras intervenções e, de quebra, verificar a necessidade de promover ajustes à síntese, considerando a possibilidade de aplicá-la futuramente em um contexto semelhante.

A seguir, em conformidade com a temática em questão, o docente propõe à classe que responda às quatro questões apresentadas a seguir, que nortearão as discussões a serem realizadas na próxima aula:

I) Por que o Brasil levou quase três décadas para efetivamente assinar o *Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares*?

II) No contexto de época em que foram utilizados, os motivos alegados pelo governo brasileiro podem ser considerados legítimos e suficientes para justificar a assinatura do *Acordo*? Por quê?

III) Das críticas feitas pelos cientistas aos termos do *Acordo*, com quais você discorda? Por quê?

IV) Na sua opinião, qual programa (Pronuclear ou Programa Nuclear Paralelo) ofereceu contribuições mais importantes no sentido de atender às necessidades brasileiras de diversificação de sua matriz energética? Por quê?

Na aula destinada à discussão das respostas dadas pelos alunos a essas questões, o docente pode utilizar sua leitura sobre a compreensão dos alunos acerca das controvérsias ligadas à assinatura do *Acordo* para com eles discutir aspectos relacionados à dinâmica entre ciência, poder e sociedade, e tentar estabelecer relações entre esse episódio e o atual momento político, econômico e social do país.

Por fim, trata-se de uma importante oportunidade para o docente fazer uma breve apresentação da atual configuração da matriz energética brasileira voltada à geração de energia elétrica, posicionando-se em relação à opção nuclear.

Atividade 2

No contexto de uma aula expositiva, o docente apresenta aos alunos um relato sintetizando os pontos centrais da peça teatral *Copenhagen*, do dramaturgo britânico Michael Frayn.

O relato deve descrever o hipotético encontro ocorrido na capital dinamarquesa entre dois importantes físicos, Werner Heisenberg (1901 – 1976) e Niels Bohr (1885 – 1962). O ano era 1941 e a Dinamarca, assim como boa parte da Europa, estava sob a ocupação das tropas nazistas.

Bohr era amigo de Heisenberg de longa data, sendo ambos responsáveis por diversas contribuições oferecidas à Física contemporânea, principalmente à Física Quântica. O mote do texto de Frayn seriam os obscuros motivos que teriam feito Heisenberg, que seguia atuando como cientista na Alemanha nazista, ir visitar Bohr, a

quem não via há tempos, principalmente por conta das contingências impostas por uma guerra que assolava a Europa havia dois anos.

Era de conhecimento de Heisenberg a possibilidade de Bohr estar colaborando secretamente com o governo dos EUA em um nascente programa voltado para a construção de bombas, baseado no conhecimento originalmente produzido por cientistas alemães no final de 1938: a fissão nuclear.

Em meio à alternância de momentos de boas recordações (derivados do histórico de cerca de duas décadas de amizade e colaboração profissional) e de grande tensão psicológica (causados pelo inusitado confronto entre duas mentes privilegiadas servindo a interesses totalmente opostos na guerra), a plateia é exposta ao lado “meramente” humano de dois dos mais importantes cientistas do século XX.

A peça de Frayn conta, ainda, com a presença da esposa de Bohr, Margarethe, alegoricamente ocupando o papel da sociedade civil testemunhando o cada vez mais acirrado debate de ideias desencadeado entre os dois grandes físicos²¹.

Constituído esse quadro junto aos alunos, que pode ser reforçado pela busca na *internet* por vídeos mostrando montagens já realizadas da peça²² – uma vez que há tempos não são feitas montagens no Brasil contando com a participação de atores profissionais e em média / longa temporada –, o docente promove junto aos alunos um levantamento de opiniões a respeito de dois fatos:

- I) Heisenberg não ter fugido da Alemanha, assim como fizeram diversos outros cientistas, e seguir trabalhando no projeto de construção da bomba atômica dos nazistas; e
- II) Bohr ter colaborado com projeto que deu origem à fabricação das bombas atômicas lançadas sobre o Japão, em 1945.

Trata-se de uma boa oportunidade de se discutir junto aos alunos os mitos envolvendo os ideais de uma “ciência neutra” e os contornos da ética praticada em ciência, bem como da influência do contexto sócio-histórico nos rumos tomados pelas descobertas científicas.

Atividade 3

Com a devida antecedência, o docente deve solicitar que os alunos assistam ao documentário em vídeo “Projeto Manhattan”, pertencente à série “Maravilhas Modernas”, produzido em 2002 pelo canal de TV norte-americano *The History*

²¹ Para maiores detalhes da peça, sugiro consultar Silveira (2011).

²² Há um breve *trailer* da montagem realizada pelo grupo paulista *Arte e Ciência no Palco* disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LA8YjgT9gK8>. Acesso: 15 de jan. 2016.

*Channe*²³. Dentre outras coisas, o vídeo apresenta as justificativas dos construtores das bombas atômicas para lançá-las sobre o Japão, no ano de 1945.

Com base na dinâmica descrita na primeira das sugestões de atividades aqui oferecidas, o docente escolhe previamente um grupo de 3 a 4 alunos para fazer à classe uma breve exposição das principais informações presentes no vídeo.

Ocorrida a apresentação do grupo, ainda na mesma aula, o docente apresenta aos alunos as seguintes questões:

I) Por que os norte-americanos lançaram as duas bombas atômicas nas cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki, mesmo após o poderio militar do Japão já ter sido praticamente dizimado?

II) Referindo-se às milhares de pessoas contratadas para trabalharem nos centros de produção do material físsil utilizado nas bombas do Projeto Manhattan, o historiador e jornalista Richard Rhodes faz o seguinte comentário: “Era duro conseguir operários durante a guerra. A solução dele [*General Groves, dirigente máximo do projeto*] foi pôr anúncios assim: ‘não podemos dizer o que vocês farão, mas haverá bife na mesa todas as noites’”. Por outro lado, boa parte dos cientistas que trabalharam nesse empreendimento era composta por imigrantes europeus refugiados da guerra, que de maneira consciente se ofereceram ou aceitaram esse trabalho sem relutar. Na sua opinião, há alguma contradição nas posturas adotadas por esses dois grupos? Por quê?

III) Sobre a corrida das duas superpotências do pós-guerra (EUA e URSS) voltada à constituição de arsenais nucleares, o cientista húngaro Edward Teller (1908 – 2003), naturalizado norte-americano, declarou: “O progresso não pode ser detido. Dizem-nos [*i.e., aos cientistas*] para deter o progresso. Temo que o progresso venha a ocorrer num país menos dedicado à paz do que nós [*EUA*]”. Recordando detalhes do histórico narrado no texto utilizado na atividade 1, seria possível relacionar essa declaração de Teller com o insucesso do Acordo Nuclear Brasil – Alemanha Ocidental? Em caso afirmativo, qual seria essa relação?

IV) Ainda que não tenha colaborado diretamente com a execução das ações do Projeto Manhattan, Albert Einstein (1879 – 1955) foi responsável pela elaboração de uma teoria que forneceu importantes subsídios teóricos utilizados na fabricação das bombas atômicas. Qual é o mais conhecido enunciado matemático dessa teoria, e de que forma ele ajuda a explicar a explosão de bombas atômicas?

²³ A primeira de cinco partes desse vídeo está disponível no *youtube* em: <https://www.youtube.com/watch?v=OvqdeYcGsO8&list=PL501D421C1E823A43>. Acesso: 15 de jan. 2016.

Com esse conjunto de questões é possível desenvolver com os alunos discussões destinadas, respectivamente, a:

- i) reforçar a importância do contexto sociopolítico nas pesquisas realizadas em ciência, bem como das decisões a respeito dos consequentes rumos tomados por suas aplicações tecnológicas;
- ii) situar os cientistas no mesmo plano das demais pessoas que constituem a sociedade civil, por diversas vezes forçadas a tomarem decisões que transcendem a compreensão dos limites éticos tradicionais, ou seja, em determinados momentos da vida, tanto os chamados “cidadãos comuns” como os cientistas se submetem ao desempenho de trabalhos destinados à obtenção de resultados com os quais esses sujeitos não concordariam segundo suas crenças e valores pessoais;
- iii) a prática do veto por parte das nações ditas “desenvolvidas”, geralmente acompanhado por boicotes e a imposição de sanções, à possibilidade das tecnologias de ponta serem compartilhadas com as nações “em desenvolvimento” é um dos principais fatores que concorrem para a manutenção do atraso científico destas últimas, um dos responsáveis pelo aumento da desigualdade socioeconômica entre os diversos países do mundo; e
- iv) dar sentido para aquela que, talvez, seja a equação mais conhecida da Física, apresentando aos alunos a equivalência entre massa e energia (“balanço energético”) presente no processo de fissão nuclear, de modo que eles entendam de onde vem a energia liberada na explosão de uma bomba atômica, bem como o processo de aproveitamento dessa energia nas usinas termonucleares.

Terminado o primeiro bloco de aulas dessa atividade, passa-se ao trabalho com o documentário “Luz Branca, Chuva Negra: a destruição de Hiroshima e Nagasaki”, produzido em 2007 pela também norte-americana *HBO*²⁴. Se o vídeo anterior expõe a opinião daqueles que venceram a corrida para a construção da bomba atômica (e a guerra), este outro documentário – dirigido pelo nipo-americano Steven Okazaki –, oferece a outra face da moeda, trazendo o relato de mais de uma dúzia de sobreviventes dos bombardeios, além de consequências derivadas do Projeto Manhattan não exploradas no documentário do *The History Channel*.

Trata-se de um vídeo longo, com quase 1h30 de duração. Portanto, seria conveniente disponibilizar de antemão aos alunos as questões a serem discutidas em sala de aula, como forma de nortear sua atenção em relação a determinados fatos presentes no vídeo já selecionados para serem aprofundados.

²⁴ Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=-p1ZVMOUjw>. Acesso: 22 de mai. 2012.

Nesse caso, o grupo escolhido para apresentar a síntese do documentário já ficaria responsável por iniciar a discussão das questões junto à sala. São elas:

I) Os EUA são reconhecidos pela facilidade com que transformam conhecimentos científicos adquiridos em contextos de guerra em importantes aplicações tecnológicas para o uso civil. O vídeo destaca a proibição prevista na constituição japonesa, redigida sob influência das forças de ocupação norte-americanas, no tocante à existência de forças armadas e à produção de armas no Japão ressurgido do pós-guerra. Todavia, o Japão é uma nação celebrada mundialmente pelo alto nível de desenvolvimento tecnológico de suas diversas empresas. O que poderia explicar esse aparente paradoxo?

II) O copiloto do avião que lançou a bomba sobre Hiroshima, Cap. Robert Lewis, participa do programa de TV destinado a homenagear Kiyoshi Tanimoto, religioso japonês que levantava fundos para as vítimas das bombas. Isso ocorreu em 1955, dez anos após o final da guerra. No programa, Lewis aparece fazendo doações para Tanimoto, segundo suas próprias palavras, “em nome da equipe que participou daquela missão, de minha empresa e de minha adorável família”. Conforme destacado pelo apresentador do programa, a mencionada empresa era a Henry Heide Ltd., atuante no ramo de balas e gomas de mascar. A princípio, esse fato soa estranho pois, como herói de guerra, seria razoável imaginar que Lewis tivesse continuado sua carreira profissional como militar. Faça uma breve pesquisa visando explicar a razão do Cap. Lewis e vários outros militares norte-americanos atuantes na 2ª. Grande Guerra terem ido trabalhar na iniciativa privada ao final da guerra, realidade que, na época, gerou consequências diretas no modo de participação das mulheres no mercado de trabalho dos EUA.

III) É possível estabelecer relações entre os dois documentários. Por exemplo, ao término da 2ª. Grande Guerra, a possibilidade de aniquilamento da população mundial provocada pela constatação do poder das bombas atômicas, trouxe a sensação de absoluta impotência e desconfiança às pessoas, quaisquer que fossem as sociedades em que viviam. Apesar disso, durante a Guerra Fria, os governos dos EUA e do Japão conduziram suas ações de maneiras muito diferentes no âmbito dos usos da energia nuclear. Enquanto os EUA seguiram investindo pesadamente no desenvolvimento de armas nucleares – em quantidade e variedade –, o Japão limitou-se a investir recursos materiais e humanos no sentido de utilizar a tecnologia nuclear para a geração de energia elétrica e, também, de descobrir novas possibilidades de aplicação da energia nuclear na resolução de problemas cotidianos da sociedade. Como resultado, o Japão conta atualmente com uma série de indústrias que dominam e comercializam a

tecnologia nuclear em nível mundial. A Toshiba, por exemplo, chegou ao ponto de comprar a norte-americana Westinghouse, em 2006. Consultando o episódio envolvendo o Acordo Nuclear Brasil – Alemanha, identifique uma possível relação entre os exemplos do Japão e do Brasil na exploração e nos usos da energia nuclear.

Dentre outras possibilidades, essas questões permitem ao docente discutir importantes aspectos que ajudam a desmitificar a prática científica, bem como explorar fatos cotidianos e aplicações tecnológicas de origem desconhecida da maioria dos alunos. Seguem-se comentários sobre cada questão, visando lançar luz sobre alguns aspectos passíveis de serem explorados:

i) Não existe um único, inequívoco e universal método científico, capaz de gerar resultados invariavelmente equivalentes em contextos sociais distintos. Ou seja, a forma de sucesso para as relações entre ciência, tecnologia e sociedade que funcionam para um determinado país podem não servir para outros, fato refletido nas políticas de Estado voltadas ao investimento em educação, pesquisa e desenvolvimento social. Este é o caso de EUA e Japão, nações constituídas sob influências geográficas e culturais muito diferentes;

ii) Cerca de 16 milhões de americanos serviram às Forças Armadas dos EUA no contexto da 2ª. Grande Guerra Mundial. Em sua absoluta maioria, esse contingente era formado por pessoas do sexo masculino. Como forma de manter a economia em funcionamento, as empresas passaram a contratar um número expressivo de mulheres para ocupar os postos vagos devido à guerra. Contudo, terminada a guerra, os homens retornaram aos EUA, cujo governo não tinha mais motivo para manter o mesmo contingente de militares e demais profissionais em sua folha de pagamento. Como forma de reinserir tais sujeitos no mercado de trabalho, as mulheres foram “convidadas” a procurarem outras maneiras para se manterem economicamente ativas – e, preferencialmente, sem abandonarem seus lares. Nesse momento, ganharam espaço as diversas empresas que baseavam a venda direta de seus produtos nas reuniões promovidas por mulheres em suas próprias residências, dentre as quais cabe destaque à *Tupperware*. Sob um olhar mais abrangente, trata-se de mais um reflexo das complexas relações envolvendo ciência, tecnologia e sociedade, pois parte da demanda pelo aumento de empregos, diretos ou indiretos, surgida durante a guerra, ocorreu em função da instalação do Projeto Manhattan; e

iii) A Westinghouse foi a empresa que vendeu ao Brasil o projeto da usina termonuclear Angra I, e a construiu nos anos 1970, pouco mais de 25 anos após o final da 2ª. Grande Guerra Mundial. Passadas três décadas, e unicamente autorizado a trabalhar com pesquisas destinadas aos usos pacíficos da energia nuclear, o Japão

atingiu um nível de desenvolvimento nessa área que permitiu às suas empresas a aquisição de tradicionais conglomerados norte-americanos. O Brasil parece ter trilhado a contramão desse processo, visto que segue tentando superar uma série de dificuldades tecnocientíficas para concluir a usina Angra III.

Atividade 4

Os resultados das principais investigações feitas em ciência afetam a sociedade como um todo, sendo retratados a partir dos mais diversos ângulos e formas. A Literatura e as Artes, por exemplo, sempre estiveram atentas a essa relação. Nesse sentido, a história é rica em exemplos de escritores e artistas que expressaram os sentimentos mais comuns e contraditórios da sociedade civil (preocupação, admiração, contrariedade, esperança, consternação) envolvendo as realizações do conjunto de ações e descobertas científicas com os quais se depararam ao longo de suas existências.

Com o objetivo de realizar junto aos alunos uma leitura crítica e atenta de exemplos associados à relação estabelecida historicamente entre a Ciência e outras manifestações culturais, a presente atividade utiliza uma conhecida poesia do brasileiro Vinicius de Moraes (1913 - 1980) e uma canção da banda britânica OMD (*Orchestral Manoeuvres in the Dark*).

Compostas com uma diferença de 26 anos entre si, em momentos distintos da Guerra Fria, *Rosa de Hiroshima*²⁵ (1954) e *Enola Gay* (1980) expressam em suas letras a indignação de duas sociedades separadas no tempo e no espaço, mas unidas pelo sentimento comum de reprovação às centenas de milhares de mortes provocadas pelo lançamento das bombas atômicas em 1945 e, também, pela sensação de impotência acerca do alcance dos produtos obtidos a partir da tecnologia nuclear.

O quadro 7 apresenta as letras dessas composições e, no caso da música, também sua tradução para o português. Elas foram colocadas lado a lado para facilitar a comparação e a análise dos pontos apresentados e das abordagens promovidas.

Rosa de Hiroshima ²⁶ (Brasil – 1954)	Enola Gay ²⁷ (Inglaterra, 1980)	
	Original (Inglês)	Tradução (Português) ²⁸
Pensem nas crianças	<i>Enola Gay,</i>	Enola Gay,

²⁵ *Rosa de Hiroxima*, na grafia utilizada por Vinicius de Moraes e hoje em desuso no Brasil.

²⁶ Disponível em: <http://www.philadelphia.com.br/clubedeleitura/wp-content/uploads/2013/11/Antologia-Vin%C3%ADcius-de-Moraes.pdf>. Acesso: 17 de jan. 2016.

²⁷ Letra extraída da versão interpretada no filme *Urgh! A Music War* (1981). Disponível no site oficial da banda: http://www.ond.uk.com/video/enola_gay_live. Acesso: 17 de jan. 2016.

²⁸ Tradução minha.

Mudas telepáticas Pensem nas meninas Cegas inexatas Pensem nas mulheres Rotas alteradas Pensem nas feridas Como rosas cálidas Mas oh não se esqueçam Da rosa da rosa Da rosa de Hiroshima A rosa hereditária A rosa radioativa Estúpida e inválida A rosa com cirrose A antirrosa atômica Sem cor sem perfume Sem rosa sem nada.	<i>you should have stayed at home yesterday</i> <i>Words can't describe</i> <i>the feeling and the way you lied</i> <i>These games you play</i> <i>they're going to end in more than tears someday</i> <i>Enola Gay,</i> <i>it shouldn't ever have to end this way</i> <i>It's eight fifteen</i> <i>and that's the time that it's always been</i> <i>We got your message on the radio</i> <i>Conditions normal and you're coming home</i> <i>Enola Gay,</i> <i>is mother proud of little boy today?</i> <i>This kiss you give,</i> <i>it's never ever going to fade away</i> <i>Enola Gay,</i> <i>it shouldn't ever have to end this way</i> <i>Enola Gay,</i> <i>it shouldn't fade in our dreams away</i> <i>It's eight fifteen</i> <i>and that's the time that it's always been</i> <i>We got your message on the radio</i> <i>Conditions normal and you're coming home</i> <i>Enola Gay,</i> <i>is mother proud of little boy today?</i> <i>This kiss you give,</i> <i>it's never ever going to fade away</i>	você deveria ter ficado em casa ontem Palavras não podem descrever o sentimento e o jeito com que você mentiu Qualquer dia, seus jogos serão mais que sofrimento Enola Gay, isso nunca deveria ter terminado deste jeito São 8h15 e essa é a hora que sempre foi Recebemos sua mensagem pelo rádio As condições estão normais e você está voltando para casa Enola Gay, a mãe hoje está orgulhosa de seu garotinho? O beijo que você dá jamais irá desaparecer Enola Gay, isso nunca deveria ter terminado deste jeito Enola Gay, isso não deveria ter desaparecido dos nossos sonhos São 8h15 e essa é a hora que sempre foi Recebemos sua mensagem pelo rádio As condições estão normais e você está voltando para casa Enola Gay, a mãe hoje está orgulhosa de seu garotinho? O beijo que você dá jamais irá desaparecer
--	--	--

Quadro 7: Letras de duas manifestações artísticas que se referem à bomba atômica lançada sobre Hiroshima.

Há diversas possibilidades de se explorar esse material, em sintonia com as intenções e a sensibilidade do docente em relação às possibilidades de interlocução a serem promovidas em cada particular contexto didático.

No caso de se propor uma Leitura Crítica, ela poderia centrar-se na identificação das referências feitas pelos autores de cada letra (*Rosa de Hiroshima* e *Enola Gay*) em relação às bombas lançadas sobre o Japão, no final da 2ª. Grande Guerra Mundial.

O quadro a seguir apresenta alguns termos e expressões presentes nas letras destacadas que constituem uma visão do mencionado episódio histórico por meio de manifestações culturais “não-científicas”:

Letra	Termos / Expressões	Referências
<i>Rosa de Hiroshima</i>	Crianças mudas Meninas cegas Rotas alteradas Rosa sem perfume Rosa radioativa	Doenças causadas pela radiação Destino e realidades sociais mudadas pela necessidade de reconstrução de cidades Formato da nuvem gerada pela explosão Características e efeitos da radiação expressos por figuras de linguagem

Enola Gay	8h15	Horário do lançamento da bomba sobre Hiroshima
	Little boy	Nome com o qual os militares estadunidenses batizaram a bomba de urânio
	Enola Gay	Nome dado ao avião B-29 que lançou a bomba de urânio sobre Hiroshima
	Mãe orgulhosa	O avião tem o mesmo nome que a mãe do piloto do B-29
	Beijo que nunca vai embora	Linguagem figurativa em alusão aos males de longa duração causados pela bomba atômica

Quadro 8: Termos e referências à bomba atômica lançada sobre o Japão, em 6 de agosto de 1945, presentes nas letras da poesia Rosa de Hiroshima e da música Enola Gay.

Ao conduzir a atividade nesses moldes, o docente oferece aos seus alunos o contato e a compreensão de termos e fatos relacionados a um importante episódio histórico a partir de outras perspectivas, diferentes da tradicional apresentação de informações técnicas nos moldes realizados por livros didáticos e paradidáticos. Ou seja, muda-se o foco: ao invés da Ciência contar sua própria história, a sociedade, por meio de seus diversos interlocutores, apresenta sua versão acerca do impacto da ciência em seu cotidiano e em sua dinâmica de existência e sobrevivência.

Atividade 5

A proposição e resolução de questões (“exercícios”) envolvendo a temática contemplada pelos conteúdos programáticos componentes da grade curricular de um curso de Física é, talvez, a maneira mais habitual de desenvolvimento dos assuntos levados para as salas de aula.

A presente atividade visa valorizar essa prática, mas tendo como foco as questões do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), elaboradas sempre em alinhamento com um determinado conjunto de competências e habilidades a serem avaliadas dos participantes da prova de escala nacional. Procedendo dessa maneira, o docente conseguiria conciliar a obrigação de preparar seus alunos para a continuidade de seus estudos em nível superior – de modo a ingressarem nos cursos com os quais se sentissem mais identificados – com a possibilidade de trabalhar em situações-problema os conhecimentos desenvolvidos em condições teórico-experimentais. E tudo isso sem utilizar como expediente a aplicação das tradicionais “listas de exercícios” elaboradas em contextos genéricos e reproduzidas de forma automatizada pelos livros didáticos e materiais elaborados pelos diversos sistemas de ensino disponíveis no país.

Tendo por base o fato de o ENEM ser composto unicamente por questões objetivas (ou seja, de múltipla escolha), esta atividade é organizada em dois momentos:

1º.) Levantamento junto às provas do ENEM aplicadas de 2010 em diante (ano em que se inicia o “novo” ENEM) das questões associadas aos conteúdos programáticos desenvolvidos pelo docente naquele fase do curso (neste caso, energia: fontes, modalidades, transformações, impactos ambientais; radiações e suas interações; e energia nuclear e radioatividade); e

2º.) Resolução das questões a partir da análise pontual dos seus distratores (“respostas incorretas”), visando, em cada caso, discutir quatro hipóteses para resoluções que podem parecer corretas para os alunos que não compreenderam adequadamente a problematização efetuada na questão. Dessa maneira, o gabarito (“resposta correta”) deveria surgir de forma mais efetiva e consistente ao final da discussão realizada e, não como um aparente caminho único, inequívoco e “natural” para a resolução da questão, em conformidade com o que a teoria determina.

Consultando a *Matriz de Referência de Competências e Habilidades* do ENEM²⁹, particularmente no tocante às Ciências da Natureza, ao menos duas das trinta habilidades (“H’s”) têm alinhamento direto com os conteúdos programáticos destacados. São elas:

H23 – Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.

H26 – Avaliar implicações sociais, ambientais e/ou econômicas na produção ou no consumo de recursos energéticos ou minerais, identificando transformações químicas ou de energia envolvidas nesses processos. (BRASIL, 2009, s.p.)

Independentemente da discussão sobre a redação dessas habilidades suscitarem, ou não, interpretações idênticas ou complementares sobre uma mesma situação-problema, por se tratar de uma análise que foge ao escopo deste trabalho, uma consulta às provas do ENEM aplicadas no período destacado³⁰ permite a identificação dos dois exemplos apresentados a seguir, ambos passíveis de serem discutidos considerando os conteúdos programáticos em evidência. As resoluções propostas a seguir foram realizadas a partir de comentários identificando o gabarito

²⁹ Disponível em:

http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=841-matriz-1&category_slug=documentos-pdf&Itemid=30192. Acesso: 17 de jan. 2016.

³⁰ Disponíveis em: <http://portal.inep.gov.br/web/enem/edicoes-anteriores/provas-e-gabaritos>. Acesso: 17 de jan. 2016.

(“CORRETO”) e, principalmente, tentando justificar a plausibilidade de cada distrator (“INCORRETO”) e o(s) respectivo(s) erro(s) cometido(s).

(ENEM 2014) A elevação da temperatura das águas de rios, lagos e mares diminui a solubilidade do oxigênio, pondo em risco as diversas formas de vida aquática que dependem desse gás. Se essa elevação de temperatura acontece por meios artificiais, dizemos que existe poluição térmica. As usinas nucleares, pela própria natureza do processo de geração de energia, podem causar esse tipo de poluição.

Que parte do ciclo de geração de energia das usinas nucleares está associada a esse tipo de poluição?

- A) Fissão do material radioativo.*
- B) Condensação do vapor d’água no final do processo.*
- C) Conversão de energia das turbinas pelos geradores.*
- D) Aquecimento da água líquida para gerar vapor-d’água.*
- E) Lançamento do vapor d’água sobre as pás das turbinas.*

Resolução

- A) INCORRETA.** Ainda que seja o efetivo responsável pelo aquecimento da água do circuito primário de uma usina termonuclear, o material radioativo permanece constantemente isolado nessa porção do reator, blindado de qualquer contato com partes externas ao prédio da usina. Portanto, não há como provocar o aquecimento mencionado.
- B) CORRETA.** A água contida no interior do circuito secundário, responsável por mover as pás da turbina de uma usina termonuclear, é aquecida por meio do contato direto com partes do circuito primário (“banho-maria”) e, após mover a turbina, deve ser refrigerada para retirar calor do circuito primário e concluir seu ciclo. Para tanto, essa água deve trocar calor com “fontes frias” eficazes para esse fim, caso dos rios, lagos e mares mencionados.
- C) INCORRETA.** O movimento das pás das turbinas de uma usina termonuclear (ao qual está associada a energia cinética que é convertida em elétrica pelo gerador da usina) ocorre em um ponto isolado das partes que poderiam trocar calor com o exterior da usina. Portanto, a turbina não é capaz de aquecer a água de rios, lagos ou mares.
- D) INCORRETA.** A porção de água que troca calor com o circuito primário da usina não troca calor com partes externas a esta no trajeto até atingir as pás das turbinas, ficando contida em uma parcela que é mantida isolada termicamente. Assim sendo, não é essa a causa da elevação de temperatura mencionada.

E) **INCORRETA.** O lançamento de vapor d'água mencionado ocorre em uma porção do circuito secundário termicamente isolada de partes externas da usina. Desta maneira, não pode provocar a elevação de temperatura descrita.

Para facilitar a visualização dos comentários tecidos, é desejável que o docente apresente aos alunos o esquema de uma usina termonuclear (do tipo abordado pelo item), no qual se tornem evidentes as partes do aludido ciclo de geração de energia.

(ENEM 2012) Suponha que você seja um consultor e foi contratado para assessorar a implantação de uma matriz energética em um pequeno país com as seguintes características: região plana, chuvosa e com ventos constantes, dispondo de poucos recursos hídricos e sem reservatórios de combustíveis fósseis.

De acordo com as características desse país, a matriz energética de menor impacto e riscos ambientais é a baseada na energia

A) dos biocombustíveis, pois tem menor impacto ambiental e maior disponibilidade.

B) solar, pelo seu baixo custo e pelas características do país favoráveis à sua implantação.

C) nuclear, por ter menor risco ambiental e ser adequada a locais com menor extensão territorial.

D) hidráulica, devido ao relevo, à extensão territorial do país e aos recursos naturais disponíveis.

E) eólica, pelas características do país e por não gerar gases do efeito estufa nem resíduos de operação.

Resolução

A) INCORRETA. Ainda que sejam obtidos por meio da queima de material orgânico (portanto, não fóssil), os biocombustíveis não são totalmente isentos da emissão de gases estufa e material particulado. São realmente boas alternativas ao uso de combustíveis fósseis, tais como carvão e óleo diesel, mas o enunciado afirma que o país em referência sequer possui esses recursos. Assim sendo, comparativamente ao uso da energia eólica (que está disponível para marcação), trata-se de uma alternativa menos vantajosa.

B) INCORRETA. O fato de contar com regiões planas depõe a favor da instalação dos painéis solares; contudo, mesmo se tratando de uma fonte renovável, a implementação da energia solar requer o gasto de elevados montantes financeiros, destinados à fabricação dos sistemas fotovoltaicos e à manutenção de baterias voltadas ao armazenamento de energia para uso noturno. Somando-se

aqui o fato de se tratar de uma região chuvosa, dificultando a captação de energia ao longo do dia, essa seria uma alternativa inviável para o propósito declarado.

- C) INCORRETA.** Ao contrário do que acredita o imaginário popular, estudos revelam que somente as usinas eólicas agredem menos o meio ambiente que as nucleares³¹. A característica que inviabiliza fortemente a adoção da energia nuclear nesse caso é a declarada pouca disponibilidade de recursos hídricos, necessários para o arrefecimento do vapor d'água utilizado no circuito secundário de uma usina termonuclear.
- D) INCORRETA.** Essa seria a alternativa de menor plausibilidade dentre as oferecidas, porque o enunciado da questão declara explicitamente tratar-se de um país que conta com poucos recursos hídricos. O complemento utilizado na redação da alternativa reforça a inviabilidade do uso dessa modalidade energética, pois, sendo plano o terreno, não é possível aproveitar desníveis de relevo para a pouca água existente mover as turbinas de uma usina hidrelétrica.
- E) CORRETA.** Por ser um país pequeno (presumivelmente, portanto, com baixa demanda energética) e contar com áreas planas e ventos constantes, a energia eólica apresenta-se como a melhor alternativa para compor a base dessa matriz energética.

Concluindo, a resolução do item da forma indicada favorece a proposição de uma discussão com os professores de Biologia e Química, que poderiam aprofundar as informações a respeito das usinas que se utilizam de biodiesel. Essa ação tende a aprimorar a compreensão dos alunos acerca do previsto pelas H's 23 e 26.

Temática da(s) aula(s): Ondas Eletromagnéticas e Interação Radiação-Matéria.

Atividade 6

Esta atividade tem os mesmos pressupostos e propósitos da atividade 5. Contudo, os conteúdos programáticos abordados são outros, requerendo uma nova seleção de questões que compuseram provas do ENEM.

Neste caso, a habilidade da matriz de referência passível de ser mais claramente contemplada seria a H-22, assim redigida:

Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais. (BRASIL, 2009, s.p.)

³¹ Essa afirmação pode ser corroborada, por exemplo, pelo documentário em vídeo “A Promessa de Pandora”, repleto de depoimentos de ambientalistas e apresentando uma comparação entre os impactos ambientais causados por diversos tipos de usinas voltadas à geração de eletricidade. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QiNRdmaJkrM>. Acesso: 17 de jan. 2016.

São apresentados a seguir dois exemplos de questões alinhadas com o que estabelece essa habilidade.

(ENEM 2014) Alguns sistemas de segurança incluem detectores de movimento. Nesses sensores, existe uma substância que se polariza na presença de radiação eletromagnética de certa região de frequência, gerando uma tensão que pode ser amplificada e empregada para efeito de controle. Quando uma pessoa se aproxima do sistema, a radiação emitida por seu corpo é detectada por esse tipo de sensor.

WENDLING, M. Sensores. Disponível em: www2.feg.unesp.br.

Acesso em: 7 de mai. 2014 (adaptado).

A radiação captada por esse detector encontra-se na região de frequência

- A) da luz visível.*
- B) do ultravioleta.*
- C) do infravermelho.*
- D) das micro-ondas.*
- E) das ondas longas de rádio.*

Resolução

A) INCORRETA. O corpo humano só emite luz visível por reflexão desse tipo de radiação eletromagnética emitida por alguma outra fonte. Portanto, se os sensores de movimento fossem regulados para captarem luz visível eles não teriam a capacidade de detectar uma pessoa adentrando a um ambiente submetido a baixos índices de iluminação.

B) INCORRETA. A plausibilidade desta alternativa é muito baixa, dificilmente apresentando-se como verossímil para os participantes do ENEM. Isto porque o enunciado declara abertamente que os detectores devem ser sensíveis a algum tipo de radiação emitida pelo corpo humano. Comumente conhecida por estar associada à luz solar, e por gerar graves danos à saúde humana ao ser absorvida pela pele em grandes quantidades, fica evidente que a radiação ultravioleta não pode ser emitida por uma pessoa, nem por reflexão.

C) CORRETA. Em condições cotidianas, o único tipo de radiação eletromagnética emitida naturalmente pelo corpo humano é o infravermelho, por se tratar de um organismo capaz de produzir calor, modalidade energética necessária à manutenção de sua vida. Portanto, os detectores de movimento devem possuir sensores programados para a captação de radiações nessa faixa de comprimento de onda.

D) INCORRETA. As micro-ondas representam uma radiação eletromagnética por vezes confundidas com o infravermelho por possuírem a capacidade de provocar o aquecimento de, por exemplo, alimentos. Todavia, possuem frequência inferior à das

ondas de infravermelho e não estão associadas ao calor do corpo humano, fato que leva os sensores de movimento a captarem outra faixa de frequência.

E) INCORRETA. Há dispositivos eletrônicos no cotidiano das pessoas que são regulados para a captação de “ondas longas de rádio” (com comprimentos de onda maiores e baixa frequência), utilizadas, por exemplo, para a detecção de informações enviadas por balões meteorológicos. Apesar de presentes quase em todos os lugares da Terra, o corpo humano não é capaz de refleti-las o suficiente para serem captadas por sensores de movimento.

(ENEM 2011) O processo de interpretação de imagens capturadas por sensores instalados a bordo de satélites que imageiam determinadas faixas ou bandas do espectro de radiação eletromagnética (REM) baseia-se na interação dessa radiação com os objetos presentes sobre a superfície terrestre. Uma das formas de avaliar essa interação é por meio da quantidade de energia refletida pelos objetos. A relação entre a refletância de um dado objeto e o comprimento de onda da REM é conhecida como curva de comportamento espectral ou assinatura espectral do objeto, como mostrado na figura, para objetos comuns na superfície terrestre.

D'ARCO, E. Radiometria e Comportamento Espectral de Alvos. INPE.

Disponível em: <http://www.agro.unitau.br>. Acesso em: 3 maio 2009.

De acordo com as curvas de assinatura espectral apresentadas na figura, para que se obtenha a melhor discriminação dos alvos mostrados, convém selecionar a banda correspondente a que comprimento de onda em micrômetros (μm)?

- A) 0,4 a 0,5.
- B) 0,5 a 0,6.
- C) 0,6 a 0,7.
- D) 0,7 a 0,8.
- E) 0,8 a 0,9.

Resolução

A) INCORRETA. A incompreensão da contextualização promovida pode levar o respondente a entender que a banda oferecendo os menores comprimentos de onda (segundo a figura) poderia representar a região oferecendo a maior discriminação entre os materiais. Porém, de 0,4 e 0,5 μm há uma grande concentração de curvas, não permitindo a correta diferenciação entre os alvos analisados.

B) INCORRETA. Nesta banda de comprimentos de onda verifica-se a presença de todos os objetivos. Adicionalmente, é possível notar tratar-se da única faixa em que os 5 objetos experimentam intervalos em que o percentual de refletância sofre aumento. Essa conjunção de fatores pode levar o respondente que não compreendeu a contextualização promovida a entender que tais características acarretariam em um maior nível de discriminação entre os objetos.

C) INCORRETA. O respondente que não conseguir interagir a contento com a problematização efetuada pode apenas, e erroneamente, tentar localizar a banda em que os padrões de crescimento das curvas sejam os mais variados entre si. Esse seria o caso mostrado pela banda de comprimentos de onda contida na região central da figura.

D) INCORRETA. Ao indicar essa alternativa, o respondente parece ter compreendido a necessidade das curvas apresentarem valores de refletância diferentes entre si nas faixas consideradas, mas não notou que o concreto e a grama não apresentam um diferença tão expressiva quanto a observada na próxima banda de comprimentos de onda destacada, a qual, de fato, apresenta-se como a melhor resposta para o problema proposto.

E) CORRETA. A melhor distinção dos alvos é obtida ao se selecionar a banda de comprimentos de onda apresentando percentagens de refletância distintas para materiais diferentes, e que não sejam muito próximos entre si. Essa possibilidade está contida no intervalo de comprimentos de onda situados entre 0,8 e 0,9 μm , conforme mostra a figura.

Resolvidas as questões a partir da sistemática sugerida, novamente são criadas condições para a troca de informações e conhecimentos com docentes de outras disciplinas, pois a problemática “interação radiação-matéria” é rica em exemplos, evidenciando não haver a necessidade de determinadas situações-problema serem analisadas a partir de uma única componente curricular. A fotopolimerização, a esterilização de alimentos e instrumentos cirúrgicos por meio do uso de radiações ionizantes e a absorção da vitamina D pelo corpo humano são

alguns dos vários exemplos de fenômenos e aplicações tecnológicas aptas a serem discutidas a partir de uma abordagem interdisciplinar.

Temática da(s) aula(s): *Decaimento Radioativo*

Atividade 7

O conceito de *Decaimento Radioativo* é fundamental no estudo da Radioatividade. Por estar associado a uma lei exponencial, o desenvolvimento dessa temática no ensino médio deve buscar alternativas que permitam ao docente não condicionar o êxito de suas aulas à necessidade de seus alunos dominarem conhecimentos matemáticos envolvendo o conceito de *logaritmo natural*.

A inviabilidade da realização de experimentos com materiais radioativos na Escola Básica é evidente. Para contornar essa limitação, uma possibilidade interessante seria o trabalho baseado na modelagem matemática de um experimento científico, ou seja, realizar uma experiência focada na análise das características e do comportamento de um fenômeno associado a uma situação simplificada, que permita a observação de determinados padrões matemáticos passíveis de serem relacionados com a realidade Física que originalmente se desejava explicitar.

Para fins práticos, o que se busca com a proposição desta atividade é que o aluno perceba e compreenda o caráter probabilístico do decaimento de uma amostra radioativa, por meio de um experimento modelizado que, neste caso particular, utiliza dados para representar os núcleos atômicos de uma hipotética substância radioativa.

A seguir é apresentado um possível roteiro para esse experimento, baseado no uso de materiais muito simples e de baixo custo; todavia, por estar relacionado a um fenômeno probabilístico, o único contratempo é a necessidade de se contar com uma quantidade relativamente grande de dados.

Roteiro do Experimento

OBJETIVO: *Verificar o caráter probabilístico e o comportamento exponencial das desintegrações sofridas pelos núcleos de elementos radioativos a partir de uma situação modelizada.*

MATERIAL: *200 dados pequenos (100 vermelhos e 100 amarelos), 1 balde pequeno e 3 folhas de papel milimetrado.*

PROCEDIMENTOS:

- 1) Coloque 20 dados vermelhos dentro do balde. Eles irão representar os núcleos radioativos (“núcleos pais”) do elemento considerado.*
- 2) Agite o balde de lançar os dados, com cuidado, sobre uma superfície plana e ampla. Essa é sua primeira “jogada”.*

- 3) Conte o número de dados indicando números pares, anote o resultado na Tabela 1, no campo “núcleos filhos”, e retire esse contingente da amostra. Por diferença em relação à quantidade inicial, preencha o número de “núcleos pais” restantes.
- 4) Substitua os dados vermelhos retirados anteriormente da amostra pela mesma quantidade de dados amarelos, que farão as vezes dos núcleos estáveis (“núcleos filhos”).
- 5) Coloque os 20 dados, agora sendo parte vermelhos, parte amarelos, de volta no balde e faça um novo lançamento (2ª. jogada).
- 6) Repita o procedimento 3, contando o número de dados vermelhos que indicam números pares, retirando esses dados da amostra e substituindo-os pela mesma quantidade de dados amarelos.
- 7) Refaça esse conjunto de ações até que todos os dados vermelhos tenham sido substituídos pelos amarelos, ou seja, até que todos os núcleos da amostra tenham se tornado estáveis. Perceba que talvez não tenha sido necessário usar todas as colunas disponibilizadas na Tabela 20.
- 8) Utilizando uma folha de papel milimetrado, construa o gráfico do número de núcleos radioativos (dados vermelhos) presentes na amostra em função da quantidade de decaimentos sofridos (jogadas). Trace a curva média.
- 9) Repita os procedimentos de 1 a 7 para duas novas amostras contendo 60 e 100 dados, anotando os valores obtidos nas tabelas 2 e 3, respectivamente. Se for necessário, aumente o número de colunas para registrar todas as medidas efetuadas.
- 10) Conforme foi realizado no procedimento 8, utilize folhas de papel milimetrado e construa gráficos a partir dos dados das Tabelas 21 e 22.

RESULTADOS:

<i>Dcaimento (número da jogada)</i>	0	1	2	3	4	5	6	7
<i>Número de Núcleos Pais (quantidade de dados vermelhos)</i>	20							
<i>Número de Núcleos Filhos (quantidade de dados amarelos)</i>	0							

Tabela 20: Número de núcleos pais e núcleos filhos restantes ao final de cada decaimento (“jogada”) para uma amostra contendo inicialmente 20 núcleos radioativos.

<i>Dcaimento</i>	0	1	2	3	4	5	6	7
------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

<i>(número da jogada)</i>								
<i>Número de Núcleos Pais (quantidade de dados vermelhos)</i>	60							
<i>Número de Núcleos Filhos (quantidade de dados amarelos)</i>	0							

Tabela 21: Número de núcleos pais e núcleos filhos restantes ao final de cada decaimento (“jogada”) para uma amostra contendo inicialmente 60 núcleos radioativos.

<i>Dcaimento (número da jogada)</i>	0	1	2	3	4	5	6	7
<i>Número de Núcleos Pais (quantidade de dados vermelhos)</i>	100							
<i>Número de Núcleos Filhos (quantidade de dados amarelos)</i>	0							

Tabela 22: Número de núcleos pais e núcleos filhos restantes ao final de cada decaimento (“jogada”) para uma amostra contendo inicialmente 100 núcleos radioativos.

QUESTÕES:

- 1) Segundo nosso experimento, a que equivale o intervalo entre duas jogadas consecutivas em comparação ao fenômeno do decaimento radioativo? Por quê?
- 2) Qual função matemática permite prever o fenômeno estudado?
- 3) Qual curva média melhor se ajustou ao que era previsto teoricamente? Por quê?

Por fim, realizadas as discussões com base nas dúvidas e opiniões dos alunos em relação ao experimento, o docente pode aproveitar a oportunidade para fazer uma breve discussão a respeito da descoberta da radioatividade.

Antoine Henri Becquerel (1852 – 1908) foi laureado com o prêmio Nobel de Física, em 1903, juntamente com o casal Curie, pela descoberta da radiação natural. Todavia, uma análise um pouco mais criteriosa do histórico dos experimentos e estudos realizados por Becquerel revela sua dificuldade ao se deparar com um fenômeno inesperado, visto que suas pesquisas – em sintonia com o que era mais contemporâneo nas investigações feitas em Física – buscavam uma compreensão dos recém-descobertos raios X³².

Fica a sugestão para o docente interessado em mostrar aos seus alunos uma face muito interessante do fazer ciência: é muito difícil e complexa a compreensão de

³² Martins (1990) explora com rigor histórico e científico esse episódio. É oferecida uma boa base para o docente, por exemplo, elaborar uma aula expositiva / dialogada a ser desenvolvida junto aos alunos. Porém, devido à complexidade dos fenômenos envolvidos e, por decorrência, ao tipo de argumentação utilizada, não é recomendada a indicação para os alunos lerem o original desse texto.

fenômenos revelados em experimentos sem que fossem esperados teoricamente. Ou seja, não é incomum em ciência que os “descobridores” de determinados fenômenos e padrões presentes em seus experimentos não sejam os efetivos responsáveis por sua explicação e, portanto, por estabelecer os conhecimentos destinados às suas aplicações em outros contextos.

Um fato muito mais recente que pode ser mencionado junto aos alunos para exemplificar essa realidade foi a descoberta das propriedades fisiológicas do *citrato de sildenafil*, em meados da década de 1990. Conhecido mundialmente pelo nome comercial do medicamento que tem essa substância como princípio ativo, o Viagra é derivado de pesquisas feitas originalmente pela indústria farmacêutica com homens suscetíveis a problemas coronários. O “efeito colateral” que deu origem a esse medicamento não foi notado, ou levado em consideração, por boa parte dos pesquisadores que trabalhavam com a perspectiva de descobrir formas de solucionar outro problema de saúde.

Temática da(s) aula(s): Fissão Nuclear e Fusão Nuclear

Atividade 8

O fenômeno da fissão nuclear é de importância central na organização e concatenação dos conhecimentos (conceitos científicos, aplicações tecnológicas e ideias *sobre* o funcionamento da Ciência) desenvolvidos por meio do conjunto de atividades sugeridas pelo presente trabalho. Portanto, trata-se de um assunto merecedor de todos os esforços didáticos disponíveis, visando em especial à superação das dificuldades na compreensão acerca do que ocorre no âmbito das dimensões nucleares, inacessíveis para serem observadas e manipuladas de forma direta.

Com esse propósito, pode-se, por exemplo, lançar mão do uso de simulações feitas por programas de computador, há pelo menos duas décadas difundidas e disponíveis para o uso em condições didáticas. Dentre os diversos *sites* constituídos com esse propósito há o *PhET Interactive Simulations*, vinculado à Universidade do Colorado (EUA) e que oferece uma grande variedade de experimentos de Física³³ e outras ciências.

³³ Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/category/physics. Acesso: 18 de jan. 2016.

Sobre a temática em referência, há uma simulação³⁴ – subdividida em três experimentos apresentados brevemente a seguir – que oferece ao aluno possibilidades de manipular virtualmente situações e variáveis envolvendo noções conceituais e tecnológicas.

➤ Fissão Nuclear

A pistola lança nêutrons rápidos em direção a um núcleo de U-235 que, bombardeado, fica instável por alguns instantes para, a seguir, emitir outros dois nêutrons e dar origem a dois núcleos filhos.

O gráfico apresentado na porção inferior da tela mostra o comportamento de parcelas energéticas do sistema antes, durante e após o bombardeio do núcleo, evidenciando, ao final, ter havido um aumento na energia total.

➤ Reação em Cadeia

³⁴ Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/nuclear-fission. Acesso: 18 de jan. 2016.

Apresentando um grau de complexidade bem maior do que o anterior, este experimento oferece a possibilidade de se escolher o isótopo de urânio a ser bombardeado pela pistola de nêutrons e, também, da quantidade de núcleos do isótopo escolhido a ser utilizada em cada bombardeio. Pode-se, também, habilitar uma câmara de contenção para a reação, que não permite às partículas e aos núcleos filhos gerados no processo escaparem do confinamento promovido.

➤ Reator Nuclear

Colocado na posição de operador do reator de uma usina termonuclear, o aluno pode regular o fluxo de nêutrons no sistema de duas formas: provocando um número maior ou menor de bombardeios por meio do disparador, ou absorvendo mais ou menos nêutrons ao ajustar a posição das barras de contenção (“controlador”). Posicionados do lado direito do vídeo, gráficos oferecem duas informações importantes: a energia total produzida nas fissões e a potência na saída do sistema,

que deve ser controlada de modo a não ocorrer um superaquecimento da água do reator.

Para orientar o trabalho dos alunos ao manipularem as simulações, de modo a evitar, dentre outros problemas, uma habitual dispersão em frente a tela de um computador e, também, a incompreensão da finalidade da atividade, algumas questões podem ser sugeridas. Tais como:

- 1) Na fissão nuclear, por que a energia total do núcleo sofre alteração após ser feito o bombardeamento pela pistola de nêutrons?
- 2) Na reação em cadeia, o que de significativo ocorre variando-se o número de núcleos de U-235? E o de U-238?
- 3) Ainda na reação em cadeia, indique uma vantagem prática para o uso da câmara de contenção.
- 4) No reator nuclear, há uma aparente violação no princípio de conservação de energia quando os controladores estão totalmente no interior do reator. Isto porque a coluna referente ao gráfico de energia da esquerda supera em vários momentos à coluna da direita. Ou seja, parece estar sendo consumida mais energia do se que produz. Como você justifica esse fato?

Terminada a atividade, e respondidas as questões, pode-se abrir espaço para a apresentação do outro processo nuclear, perguntando-se aos alunos sobre terem conhecimento da existência de algum reator natural cujo funcionamento se baseie na fusão nuclear, qual seria seu “combustível”, as principais características do local onde está instalado etc.

Atividade 9

Como mencionado na atividade 7, Marie e Pierre Curie ofereceram ao mundo os primeiros conhecimentos a respeito da radioatividade natural, na virada entre os séculos XIX e XX. Como forma de reconhecimento pela comunidade científica, os dois, juntamente com Becquerel, foram laureados com o Prêmio Nobel de Física (PNF) em 1903.

Contudo, essa valorização do mérito dos principais envolvidos em uma descoberta não pode ser considerada uma regra em ciência. Pesquisas históricas revelam não ser um exagero afirmar que o referido PNF fora atribuído ao casal, e não especificamente à polonesa Marie Sklodowska Curie (1867 – 1934), cuja história de vida revela uma série de boicotes, discriminações e atos voltados a desvalorizar seu trabalho, realizados por parte de uma sociedade científica composta quase que exclusivamente por homens. Contemporânea de Marie Curie, a Física austríaca Lise Meitner (1878 – 1968) precisou enfrentar obstáculos equivalentes para ver

reconhecidas suas contribuições à ciência. E a Meitner deve-se acrescentar o fato de ser uma judia que viveu o período entreguerras em uma Alemanha assistindo à ascensão e à instauração dos crimes do Nazismo.

Além de ter sido preterida na premiação feita a Otto Hahn (1879 – 1968) pela descoberta da fissão nuclear, Meitner já havia experimentado os dissabores causados pelo fato de ser uma mulher atuando, naquele contexto de época, em meio a tantos homens. Por exemplo, um interessante fenômeno eletrônico por ela descoberto no início da década de 1920 leva o nome de *Efeito Auger*, em alusão ao nome do cientista francês – um homem, portanto – que divulgou também tê-lo “descoberto”, porém quase dois anos após Meitner. Esse é o pano de fundo para a atividade aqui proposta.

Utilizando um excerto do texto original escrito para despertar as ações de todas as atividades que compõem este trabalho (“Acordo Nuclear Brasil – Alemanha Ocidental”), o docente utiliza uma aula para os alunos lerem esse material e, nesse mesmo momento didático, oferece informações baseadas no preâmbulo aqui apresentado. O objetivo é evidenciar os pontos de contato entre as trajetórias de Marie Curie e Lise Meitner, de modo a privilegiar a proposição de uma discussão contemplando duas importantes e atuais temáticas relacionadas aos estudos da aproximação HFC – Ensino: a primazia de uma descoberta científica e a presença das mulheres na Ciência.

A seguir apresenta-se o excerto mencionado, a ser lido em aula pelos alunos:

“Em dezembro de 1938, os alemães Otto Hahn (1879 – 1968) e Fritz Strassmann (1902 – 1980), trabalhando para o governo nazista no Instituto de Química Kaiser Wilhelm, em Berlim, obtiveram experimentalmente um método para seccionar núcleos de átomos de urânio.

Originalmente, as experiências realizadas com núcleos de urânio bombardeados por nêutrons visavam à produção de átomos ainda mais pesados. Contudo, muito além da descoberta da possibilidade de cindir o “indivisível”, o grande diferencial da técnica empregada por esses cientistas estava nos subprodutos gerados: elementos mais leves e liberação de energia.

A técnica, denominada fissão nuclear, surpreendeu o meio científico à época pela imensa quantidade de energia liberada na “quebra” dos núcleos de urânio, deixando no ar as efetivas possibilidades tecnológicas desse novo fenômeno, até mesmo entre os seus descobridores. E aqui reside uma das mais fascinantes nuances da história da

ciência: nem sempre o autor de uma ideia ou o descobridor de um fenômeno tem de antemão a exata dimensão do alcance de suas “criações”.

No caso específico da fissão nuclear, ao menos dois outros físicos austríacos deveriam ter seus nomes incluídos nesse histórico: Lise Meitner (1878 – 1968) e Otto Frisch (1904 – 1979), que ofereceram importantes contribuições teóricas para a elucidação do fenômeno da fissão nuclear.

Todavia, em dezembro de 1944, apenas Hahn foi agraciado com o Prêmio Nobel de Química pela descoberta da fissão nuclear. E, passados mais oito meses, o mundo – e, mais especificamente, os habitantes das cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki – colhia os resultados da aplicação tecnológica mais cruel dessa conquista de Hahn: as bombas atômicas detonadas, em agosto de 1945, no Japão.”

Na sequência é realizada pelo docente a breve exposição do histórico de Curie e Meitner para, ao final, propor aos alunos as seguintes questões:

- 1) Por que, ao contrário de Marie Curie, Lise Meitner não foi laureada com um Nobel?
- 2) Quais cientistas deveriam ser efetivamente reconhecidos como descobridores da fissão nuclear: Hahn e Strassmann pela constatação experimental do fenômeno, ou Meitner e Frisch pelo desenvolvimento do arcabouço teórico norteador das pesquisas experimentais? Deve-se privilegiar alguma dessas instâncias em detrimento da outra?

Por se tratar de uma única aula, a discussão dos aspectos que circundam esses dois questionamentos (o papel das mulheres na ciência e a atribuição da primazia de uma descoberta científica) deve ser suficiente para despertar entre os alunos o interesse por conhecer outros episódios e personagens históricos relacionados à mesma temática. Para tanto, fica como sugestão o texto *Oxigênio* (DJERASSI; HOFFMANN, 2004), escrito na forma de um roteiro de peça teatral sobre um assunto muito presente nas aulas de Química e que, portanto, favorece a elaboração de novas intervenções didáticas de caráter interdisciplinar.

Temática da(s) aula(s): *Acidentes Nucleares*

Atividade 10

O receio da ocorrência de acidentes em usinas termonucleares é, provavelmente, o maior motivo para a rejeição à construção dessas instalações mundo afora. Somando-se a esse fato as possibilidades de destinação da tecnologia nuclear

aos interesses bélicos, muito já foi discutido no sentido de se banir a chamada opção nuclear do leque de alternativas para a diversificação da matriz energética das nações.

Contudo, de tempos em tempos a opção nuclear ressurge como questão de ordem, visto que a população mundial não para de crescer e, em consequência, aumenta a demanda por fontes energéticas em larga escala.

A presente atividade baseia-se na interlocução entre dois materiais didáticos, com o objetivo final de fomentar as discussões nos moldes de um hipotético “fórum regional”, destinado a defender a adoção da energia nuclear como meio predominante de geração de energia elétrica no Brasil.

Tais materiais são: a íntegra do texto do “Acordo”, que a essa altura do curso já deve ter sido lido pela grande maioria dos alunos; e o já mencionado (na atividade 5) documentário em vídeo *A Promessa de Pandora*, do diretor norte-americano Robert Stone. Lançado mundialmente em 2013, esse documentário apresenta depoimentos controversos de notórios “ex-militantes” contra a causa nuclear – a maioria ligada a movimentos ambientalistas –, destacando os argumentos e fatos responsáveis por convencer-lhes a “mudarem de lado” e defenderem o amplo uso da energia nuclear. Nesse contexto, são mostradas versões sobre os acidentes nucleares de Three Miles Island, Chernobyl e Fukushima, assim como é feita uma leitura do histórico do programa de disseminação de usinas nucleares em solo norte-americano.

Indicadas aos alunos a leitura do texto e a visualização do documentário, marca-se uma sequência de ao menos três aulas para a realização do fórum, o qual terá o docente como coordenador / moderador dos debates.

O início do fórum é caracterizado pela leitura da “apresentação” das motivações e objetivos do evento, seguida da escolha de quatro alunos – realizada em assembleia – para comporem a mesa de negociações na condição de “debatedores”.

Constituída a mesa (pelo coordenador e os debatedores), procede-se à leitura dos artigos da “pauta preliminar” do evento, de atribuição do coordenador. A cada artigo colocado em pauta busca-se um consenso no sentido de mantê-lo, modificá-lo ou descartá-lo. É de responsabilidade do coordenador a constante invocação e estímulo junto à audiência, incentivando sua participação.

Terminada a discussão dos dez artigos, o coordenador realiza a leitura dos termos aprovados, e verifica junto à audiência o interesse quanto à inserção de outros artigos. Não havendo mais divergências ou proposições, declara-se aprovado o texto final elaborado nas circunstâncias do evento.

A seguir é apresentada a íntegra do texto produzido para dar suporte ao fórum, que deverá ser disponibilizado previamente a todos participantes.

Fórum Escolar sobre os Usos Pacíficos da Energia Nuclear – FEUPEN

Apresentação

Em busca de soluções energéticas para o Brasil voltar a crescer de forma sustentável, rumo à redução da desigualdade social ao gerar mais empregos, oportunidades de investimento e melhoria da qualidade de vida de sua população, é instituída, nesta data e unidade educacional, a versão local do Fórum Escolar sobre os Usos Pacíficos da Energia Nuclear (FEUPEN).

O FEUPEN é parte de uma série de esforços do Governo Federal, em parceria com setores da sociedade civil interessados na escolha da energia nuclear como principal destino dos investimentos, públicos e privados, a serem aportados nos próximos 20 anos visando à produção da energia elétrica necessária para o progresso e a integração social do nosso país.

Como modelos destinados a servirem de base para a elaboração dos pontos da pauta a serem discutidos nas seções de trabalho deste evento, elegeram-se duas referências de notório valor: o documentário em vídeo Pandora's Promise e o manuscrito Acordo Nuclear Brasil – Alemanha Ocidental: antecedentes, controvérsias e desdobramentos.

Constituída inicialmente por dez artigos, a versão final do documento dará origem à carta de reivindicações a ser encaminhada para o Ministério das Minas e Energia, órgão responsável por compilar as deliberações e demandas destacadas pelas diversas localidades brasileiras escolhidas como sedes do FEUPEN.

Por consequência, espera-se a maciça, atenta e crítica participação da audiência no fórum, visando, ao final das rodadas de negociação dos termos constantes na pauta preliminar de discussões, à solução dos entraves há tempos enfrentados pelo Governo Federal no sentido de garantir a produção e a distribuição de energia elétrica em todo território nacional.

Pauta Preliminar de Discussões

Artigo 1

A solução dos problemas brasileiros envolvendo a geração e a distribuição de energia – de forma eficaz e sustentável – deve seguir o exemplo das nações que alcançaram êxito ao concentrarem suas matrizes energéticas no uso da energia nuclear, tais como França, Bélgica e Japão. Os excelentes níveis de segurança, longevidade e emissão de poluentes e gases estufa associados ao funcionamento das usinas termonucleares justificam plenamente essa escolha.

Artigo 2

O domínio da tecnologia necessária para a implantação de todas as etapas destinadas ao funcionamento das usinas em solo brasileiro virá de um intercâmbio entre cientistas e técnicos brasileiros e reconhecidos especialistas de alguma(s) das nações mencionadas no artigo anterior, via a assinatura de um acordo internacional de cooperação. Esse ato diplomático somente será consumado após serem realizadas consultas aos representantes das principais sociedades científicas nacionais, com vistas à identificação das reais demandas tecnocientíficas a serem contempladas no ato de assinatura do acordo.

Artigo 3

Fica de antemão estabelecido que todas as usinas termonucleares a serem instaladas em território nacional funcionarão com reatores de 4ª. geração – como é o caso do IFR (Integral Fast Reactor) –, produtos tecnológicas isentos da possibilidade de causarem acidentes nucleares e, adicionalmente, capazes de reprocessar os rejeitos (“lixo nuclear”) já produzidos pelas ultrapassadas usinas de Angra I e II.

Artigo 4

Em sintonia com o exposto no artigo anterior, e como forma de valorizar os conhecimentos dos diversos especialistas brasileiros atuantes na área nuclear, o Governo Federal implementará vigorosos e persistentes esforços no sentido de lograr êxito na compra de ogivas nucleares junto às nações interessadas na comercialização desses artefatos. O objetivo maior dessa ação é executar nacionalmente o reprocessamento do material físsil das ogivas até que sejam atingidos níveis de enriquecimento considerados seguros segundo a convenção internacional, de modo que o produto final seja empregado como combustível das usinas brasileiras.

Artigo 5

Visando à preparação das futuras gerações para o reconhecimento da importância da continuidade do projeto de construção de uma nação mais próspera e justa, iniciado com as proposições das ações contidas neste documento, serão introduzidos nas aulas de Ciências (Educação Básica) – em caráter oficial e obrigatório – temas voltados à divulgação dos méritos e vantagens de se utilizar a energia nuclear como carro-chefe da matriz energética brasileira voltada à geração de eletricidade. Com esse intuito, é imperioso que esses espaços curriculares promovam ações eficazes no sentido de se desfazer os mitos historicamente sedimentados no imaginário popular a respeito das possibilidades nefastas de usos da energia nuclear.

Artigo 6

Ao contrário do que atualmente ocorre, a função de fiscalização das condições de segurança e funcionamento das atividades nucleares no Brasil deverá definitivamente desvincular-se do âmbito das responsabilidades da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que doravante concentrará suas ações na regulamentação e no licenciamento das instalações realizadas pela área nuclear. Como consequência, será criada uma nova e autônoma comissão de fiscalização de toda e qualquer atividade relacionada aos usos da energia nuclear no país.

Artigo 7

Por conta da comprovada ineficácia das tradicionais fontes renováveis de energia (eólica, solar, marés) no provimento de energia elétrica em larga escala, assim como de outras ditas fontes de “energia limpa” (biocombustíveis, gás natural) – que ainda apresentam percentuais significativos de emissão de gases estufa –, o investimento de recursos públicos voltados ao financiamento de quaisquer atividades associadas a esse conjunto de possibilidades de captação de energia fica suspenso pelos próximos 20 anos, período estipulado inicialmente para a implantação das usinas termonucleares previstas por este documento.

Artigo 8

Como consequência direta das ações e esforços supramencionados, todas as usinas termelétricas existentes em território nacional devem ter suas atividades encerradas ao longo dos próximos 20 anos, assim como fica terminantemente vedada a destinação de dinheiro, público ou privado, para o financiamento de qualquer modalidade de usina baseada na queima de combustíveis fósseis.

Artigo 9

O Governo Federal deverá reservar parte dos investimentos para a instauração e a manutenção de uma política de divulgação nacional em prol dos avanços previstos para serem alcançados na área nuclear, financiando a propaganda – nos diversos meios de comunicação disponíveis – voltada para a orientação da sociedade acerca dos benefícios desse projeto e do estágio atualizado em que se encontra o andamento de suas etapas. Inicialmente, essa grande peça publicitária deve basear-se no lema “ser antinuclear é ser a favor dos combustíveis fósseis”.

Artigo 10

Por fim, seguindo o modelo de países que atribuíram à energia nuclear o status de assunto de relevante interesse para a manutenção da segurança nacional, como é o caso da França, o Brasil deve propor ao Poder Legislativo – e em caráter de urgência

– uma emenda constitucional destinada a oferecer um foro privilegiado para a análise de assuntos relacionados à energia nuclear.

Para facilitar o trabalho do docente, principalmente no processo de moderação do fórum e articulação das discussões, são oferecidas a seguir algumas informações pontuais passíveis de serem articuladas no processo de análise de cada artigo. É importante ressaltar que a redação dos artigos visou suscitar a polêmica e a divergência de opiniões junto à audiência, que deverá aprender a defender seus pontos de vista, motivo maior para não haver necessariamente uma coerência entre as ideias e os possíveis interesses existentes por trás de cada artigo.

- Artigo 1: A referência feita aos “excelentes níveis de segurança, longevidade e emissão de poluentes e gases estufa” associados ao funcionamento das usinas term nucleares somente faz sentido quando cotejadas com outros tipos de usinas. Ademais, ao contrário do Brasil, os países citados como exemplos a serem seguidos há décadas chegaram ao limite de exploração dos recursos hídricos locais. Como nosso país domina todas etapas da tecnologia necessária para o funcionamento e a gestão das usinas hidrelétricas, descartar essa alternativa é sempre uma escolha questionável.
- Artigo 2: Este artigo concorda com o que é descrito no texto sobre o “Acordo”, pois enfatiza a necessidade de se levar em conta as opiniões de representantes legítimos da comunidade científica estabelecida nacionalmente, bem como da importância de se valorizar a formação e as *expertises* dos especialistas brasileiros em assuntos nucleares, aproveitando acertos e erros cometidos por ocasião do planejamento e da execução dos termos do “Acordo”.
- Artigo 3: Neste artigo surge a primeira grande incoerência do documento: se o artigo 2 declarou que todas as decisões devem passar pelo crivo da comunidade científica brasileira, não se pode de antemão “adivinhar” e determinar a melhor opção de reator para o funcionamento das usinas. A afirmação sobre a capacidade de os IFR reprocessarem rejeitos próprios e das usinas já atuantes no Brasil encontra ressonância naquilo que é afirmado no documentário, mas, reiterando, precisa ser referendada por nossos especialistas em reatores, inclusive por conta dos custos envolvidos e, principalmente, pela concreta disponibilidade de se importar essa tecnologia. Afinal, é improvável que os EUA se prontificariam a vendê-la ao Brasil.

- Artigo 4: Aqui a polêmica é ainda maior: quem venderia ogivas nucleares ao Brasil? Como signatário do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares, nosso país é refém do que as nações “nuclearizadas” – principalmente as ocupantes das cinco cadeiras permanentes no Conselho de Segurança da ONU – autorizarem. Aquisição de ogivas, por mais que o contrário esteja expresso na Constituição Federal do Brasil, habilita o país a constituir um arsenal nuclear. Há tempos é de conhecimento das potências atômicas que o Brasil domina a tecnologia que pode ser direcionada à construção de armamentos.
- Artigo 5: Como está redigido, o artigo dá margem para o entendimento de uma ação destinada a doutrinar os estudantes desde as mais tenras idades no sentido de aceitarem e defenderem os usos da energia nuclear, em detrimento de oferecer-lhes uma educação científica plural que lhes permitisse formar por si mesmos suas opiniões. Trata-se de uma espécie de “lavagem cerebral”, seguindo os mesmos moldes do que foi promovido nos EUA nas décadas de 1950 e 1960. Mas uma vez, esse tipo de deliberação deveria surgir do diálogo estabelecido com os especialistas em Educação, Ciência e Tecnologia, antes de ser compulsoriamente adotada.
- Artigo 6: Essa é uma importante demanda não presente nos materiais oferecidos aos alunos, que deveriam ficar em dúvida sobre o teor do que é colocado e procurar mais informações que lhes permitissem formar uma opinião mais robusta sobre a temática. Espera-se que a dinâmica desenvolvida pelo coordenador do fórum, voltada à participação de todos nas tomadas de decisão, conduza os alunos à descoberta de uma clara contradição associada às responsabilidades da CNEN: há décadas este órgão legisla em benefício próprio, pois é sua a atribuição de licenciar as instalações nucleares no país e, paradoxalmente, também de fiscalizá-las – o que significa, em certa medida, fiscalizar-se a si mesma.
- Artigo 7: Ainda que boa parte das críticas feitas ao baixo rendimento das usinas eólicas, solares etc., e, também, às emissões de gases estufa por algumas aludidas fontes de “energia limpa” façam sentido, é invariavelmente precipitado e questionável o corte total de investimentos em pesquisas científicas e tecnológicas, principalmente em segmentos que já obtiveram conquistas e avanços expressivos. Os conhecimentos produzidos nessas áreas podem gerar a resolução de outros problemas que acometem a

sociedade, bem como produzir divisas ao serem negociados com outras nações.

- Artigo 8: Conduzido com bom senso e parcimônia, e sob o referendo dos diversos setores prejudicados inicialmente por essa ação, o encerramento das atividades das usinas termelétricas é uma ação positiva em termos socioambientais, dando margem para o fomento de outras formas de se produzir eletricidade com maior apelo à sustentabilidade.
- Artigo 9: O lema apresentado foi retirado de uma afirmação feita no documentário e em um contexto muito específico (o financiamento, feito por parte das empresas do petróleo, de propagandas contrárias à opção nuclear em meio às duas grandes crises do petróleo ocorridas nos anos 1970). Portanto, não pode ser generalizado nem assumir o tom de palavras de ordem para o país. Também não é aceitável, em um regime democrático, que recursos públicos sejam investidos em propagandas destinadas a divulgar apenas os aspectos positivos de uma iniciativa tão polêmica.
- Artigo 10: Mudanças na Constituição de um país sujeito a um regime democrático devem ocorrer apenas no sentido de proteger os interesses de toda sociedade, não somente de grupos pontuais. Como já foi comentado, a França não dispõe dos recursos energéticos que nosso país possui, fato que levou seus dirigentes, após consultas feitas à sociedade civil, a adotar essa medida extrema. E, mesmo assim, não são poucos nem raros os críticos dessa opção atuantes em terras gaulesas. Portanto, importar essa ação de forma acrítica seria abrir um precedente muito perigoso, privilegiando os interesses de determinados grupos em detrimento do interesse e dos anseios de uma parcela expressiva da sociedade.

É imperioso ressaltar que os comentários aqui tecidos não são a última palavra a ser dada no assunto e, muito menos, devem prevalecer em relação à participação dos alunos. Pelo contrário, devem servir apenas como ponto de partida para a preparação do docente ao atuar como mediador das discussões, permitindo-lhe aprofundar-se nos pontos em que se sentir menos seguro ao abordar essa importante temática³⁵.

³⁵ Um documento recente, que reforça a relevância dos assuntos abordados por essa atividade, é a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Sua primeira versão, destinada a passar por rodadas de negociação junto aos diversos setores da sociedade, declara ser fundamental que as aulas de Física do Ensino Médio, no trabalho com a unidade de conhecimento *Matéria e radiação em sistemas e processos naturais e tecnológicos*, abram

Temática da(s) aula(s): Modelo Padrão

Atividade 11

Explicar a origem e a constituição de todas as coisas existentes na Natureza é uma tarefa que ocupa lugar de destaque no intelecto humano desde as mais remotas eras. Ainda hoje, uma época em que nos vemos cercados pelos diversos produtos gerados a partir da investigação científica, as “melhores” respostas obtidas para essas inquietações não podem ser consideradas definitivas.

A Física é uma ciência e, portanto, as teorias que constrói como forma de explicação dos fenômenos naturais observados oferecem, via de regra, respostas provisórias e, por vezes, sustentadas por modelos que admitem a existência de entidades muito estranhas.

Por exemplo, o chamado “Modelo Padrão”, carro-chefe atual das explicações voltadas à explicação da constituição da matéria, não foge a essa regra. Devido à complexidade do ferramental matemático necessário à precisa apresentação dessa teoria, uma alternativa para se trabalhar essa temática no ensino médio baseia-se na apresentação do histórico de descobertas e realizações relacionadas ao desenvolvimento desse constructo.

De modo a oferecer informações que permitam ao docente realizar um trabalho mais fenomenológico acerca do conceito de *partículas elementares*, permitindo, em concomitância, valorizar a trajetória de vida e trabalhos desenvolvidos por uma das poucas personalidades conhecidas da ciência nacional, esta atividade sugere a apresentação aos alunos do vídeo *Grandes Cientistas Brasileiros – Cesar Lattes*, produzido pela Rede Globo de Televisão em 2009³⁶, com desdobramentos filosóficos passíveis de serem ilustrados pelo trecho de um desenho animado conhecido do grande público.

Ainda que diversos argumentos presentes no vídeo apresentem imprecisões de caráter historiográfico, deve-se considerar tratar-se de uma peça de *divulgação científica*, com características, apelos e intenções distintas daquilo que se espera de um material comprometido com o rigor historiográfico. Portanto, os questionamentos aqui sugeridos atêm-se somente aos fatos apresentados no vídeo com potencial para a promoção de discussões relevantes em termos didáticos.

espaço para o respectivo histórico associado. Textualmente, a BNCC sugere ser necessário promover junto aos alunos a análise dos “vários eventos envolvendo o uso da energia nuclear, desde a explosão de bombas atômicas, o vazamento de usinas de geração de energia até descarte de material radioativo” (BRASIL, 2015, p. 218).

³⁶ Disponível em: <http://redeglobo.globo.com/globocidadania/videos/v/grandes-cientistas-brasileiros-cesar-lattes/1498690/>. Acesso: 21 de jan. 2016.

Feita essa ressalva, a sugestão é que o docente separe duas aulas (tempos didáticos) para desenvolver o conteúdo em referência. Após a exibição dos 20 minutos do vídeo indicado, o docente lança mão de discussões junto aos alunos buscando aprofundar (ao menos) três dos pontos abordados, a saber:

- I) O surgimento das universidades brasileiras e, com elas, dos centros e agências de pesquisa (CNPq, CBPF etc.);
- II) A importância dos resultados das duas investigações de Lattes mencionadas no vídeo (detecção dos raios cósmicos e detecção do méson π) no estabelecimento do atual modelo científico de explicação da constituição da matéria; e
- III) A importância dos modelos para a Ciência, seus alcances e suas limitações.

O encadeamento das análises feitas pelo docente ao abordar cada um desses pontos durante uma aula dialogada / expositiva permite-lhe – além de valorizar um importante episódio histórico da Física no Brasil – apresentar os principais conceitos envolvidos (forças, massas, energias) no chamado *Modelo Padrão*³⁷, as características dos dispositivos historicamente utilizados para a “detecção” de partículas subatômicas (indo das emulsões fotográficas, câmaras de bolha e aceleradores, até se chegar ao LHC – ou vice-versa) e, ainda, discutir a validade e os limites de uma explicação científica.

Sobre esse último aspecto pode-se, por exemplo, discutir com os alunos o caráter ontológico atribuído por muitos cientistas às partículas constituintes do Modelo Padrão, enquanto esses mesmos profissionais desprezam a importância de outras entidades “estranhas” utilizadas ao longo da história como forma de sustentação para as teorias científicas de suas épocas, como é o caso dos fluidos (calórico, éter, flogístico etc.).

Por fim, caso o docente se sinta confortável abordando polêmicas envolvendo ciência e religião, há um episódio da série norte-americana *Family Guy*³⁸ (“Uma Família da Pesada”, em português), que pode fomentar reflexões importantes cotejando as explicações científicas e as explicações feitas por outras manifestações culturais, como é o caso da Religião³⁹.

³⁷ Caso deseje se aprofundar nessa temática a partir de abordagens predominantemente fenomenológicas, o docente pode recorrer, por exemplo, a Ostermann e Cavalcanti (2001) e Moreira (2011).

³⁸ Trecho legendado disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xyKkeGDJd5A>. Acesso: 16 de fev. 2016.

³⁹ Um ponto de partida possível para essa discussão é a transição ocorrida entre as explicações mitológicas e as explicações filosóficas, presente em Martins (2012, caps. 1 a 3).

Concluído o detalhamento das atividades didáticas sugeridas, o quadro 9 visa sintetizá-las e organizá-las, de modo a relacionar os respectivos conteúdos programáticos e recursos didáticos passíveis de serem mobilizados em sua aplicação.

Conteúdos Programáticos	Ferramentas e Atividades Didáticas Sugeridas	Recursos Didáticos
Fontes de Energia Transformações Energéticas Impactos Ambientais	1) Síntese do episódio histórico (“Acordo”): Discussões acerca do papel do contexto histórico e social na assinatura do Acordo Nuclear Brasil – Alemanha Ocidental, e os pontos mais controversos desse episódio	✓ CTS ✓ HFC
	2) Peça Teatral (“Copenhague”): Levantamento das opiniões dos alunos a respeito do fato de Heisenberg ter continuado trabalhando para o governo nazista e, também sobre a participação de Bohr na fabricação das bombas atômicas lançadas sobre o Japão	✓ Arte e Ciência ✓ CTS ✓ HFC
	3) Documentários (“Projeto Manhattan” e “Luz Branca, Chuva Negra”): Discussões reafirmando a possibilidade de existirem diferentes leituras a respeito de um mesmo episódio histórico, baseadas em narrativas guiadas por pontos de vista, interesses e influências culturais distintas	✓ Audiovisuais ✓ CTS ✓ HFC
	4) Poesia (“Rosa de Hiroshima”) e Música (“Enola Gay”): Leitura crítica das letras de duas formas de se expressar, por meio da literatura e da arte, a contrariedade, a consternação e a preocupação com os resultados da Ciência	✓ Arte e Ciência ✓ HFC
	5) Questões do ENEM (contemplando as habilidades 23 e 26 da matriz de referência): Discussão sobre as possibilidades de resolução de questões objetivas a partir da análise dos conjuntos de distratores e da natureza dos conhecimentos mobilizados	✓ Contextualização ✓ Interdisciplinaridade ✓ Resolução de Problemas
Ondas Eletromagnéticas Interação Radiação-Matéria	6) Questões do ENEM (contemplando a habilidade 22 da matriz de referência): Discussão sobre as possibilidades de resolução de questões objetivas a partir da análise dos conjuntos de distratores e da natureza dos conhecimentos mobilizados	✓ Contextualização ✓ Interdisciplinaridade ✓ Resolução de Problemas
Dcaimento Radioativo	7) Experimento (“Decaimento com Dados”): Evidenciação do caráter probabilístico e exponencial das desintegrações sofridas pelos núcleos radioativos por meio da modelagem de um experimento científico	✓ Experimentação ✓ HFC ✓ Modelos e Modelagens
Fissão e Fusão Nucleares	8) Simulações do <i>PhET</i> (“Fissão Nuclear”, “Reação em Cadeia” e “Reator Nuclear”): Manipulação de variáveis presentes em aplicações de um fenômeno físico intermediada pelo uso de recursos de informática	✓ Experimentação ✓ HFC ✓ TIC
	9) Episódio histórico (“Acordo”): Discussões a respeito primazia de uma descoberta e a presença das mulheres na Ciência	✓ CTS ✓ HFC
Acidentes Nucleares	10) Episódio histórico (“Acordo”) e Documentário em Vídeo (“A Promessa de Pandora”): Constituição de um fórum com os alunos visando ao debate das principais ideias contidas no documentário e no texto, norteado pelas questões contidas na pauta preliminar entregue aos participantes.	✓ Audiovisuais ✓ CTS ✓ HFC
Modelo	11) Vídeo (“Grande Cientistas Brasileiros”): Discussão acerca da	✓ Audiovisuais

Padrão	importância dos modelos em ciência, seus alcances, suas limitações e os paralelos possíveis com outras formas de se tentar explicar a Natureza.	✓HFC
--------	---	------

Quadro 9: Recursos didáticos mobilizados na abordagem dos conteúdos programáticos destacados a partir das ferramentas e atividades didáticas sugeridas.

O episódio histórico e as onze atividades didáticas elaboradas foram submetidos à análise de um conjunto de professores de Física que já atuam em sala de aula, buscando identificar os aspectos que poderiam fazer com que esses professores utilizassem ou não, em sua prática profissional, os materiais elaborados. Essa investigação é detalhada no próximo capítulo.

Capítulo 4

O Questionário Final (QF) e as opiniões de professores recém-formados a respeito do material produzido e seus usos didáticos

A lição sabemos de cor
Só nos resta aprender.

Sol de Primavera (Beto Guedes)

4.1 – A formulação do QF, sua finalidade e os participantes dessa etapa da pesquisa

O último instrumento de coleta de dados que compõe esta investigação – denominado Questionário Final (QF) – foi constituído por sete questões e disponibilizado para ser respondido no ambiente virtual *Google Docs*, tal como ocorreu com o QI.

Porém, outros sujeitos foram escolhidos para respondê-lo. Neste caso, optei por convidar professores de Física formados no IFSP-SP que tiveram contato com os critérios historiográficos que caracterizam a AHC e a MHC, por ocasião das disciplinas que tive a oportunidade de ministrar-lhes e, também, por haverem participado de projetos de iniciação científica e iniciação à docência, e apresentado trabalhos em eventos científicos (congressos, encontros, simpósios etc.) das áreas de História e Ensino de Ciências.

Além do desejável conhecimento a respeito das vertentes historiográficas delineadas neste trabalho, o reduzido interesse dos participantes do QD em prosseguir colaborando com a pesquisa – evidenciado pelo baixo número de respondentes do QD em relação ao total de sujeitos aptos e convidados a participar do QI – foi determinante para a escolha dos participantes do QF.

Por se tratar do instrumento destinado à coleta de concepções de professores de Física a respeito do valor didático do material elaborado e descrito no capítulo anterior (episódio histórico, síntese do episódio e sugestões de atividades didáticas), optei por evitar os riscos de não contar com um número significativo de participantes e, também, destes não disporem de conhecimentos mínimos acerca da historiografia da ciência.

Dos nove sujeitos originalmente convidados por e-mail, oito aceitaram o convite para apreciar o material e responder ao QF, sendo quatro homens e quatro mulheres, com idades entre 24 e 39 anos, todos tendo cursado a licenciatura em Física do IFSP-SP (entre 2008 e 2015) e trabalhado como professores dessa disciplina em escolas públicas e particulares da Grande São Paulo.

Após receber a confirmação do interesse de cada um dos professores em participar, enviei a eles o material que elaborei anexado em um e-mail e, na sequência, enviei-lhes outro e-mail com um *link* para o QF (contendo sete questões) e suas orientações, as quais relaciono a seguir:

- ☞ *Visando concluir minha pesquisa sobre a utilização da História da Ciência (HC) no Ensino de Física, apresento-lhe este último questionário. O principal objetivo consiste em identificar o valor didático do episódio histórico produzido e sua efetividade no exercício dos usos da moderna historiografia da ciência na composição de aulas de Física para a Escola Básica.*
- ☞ *Para tanto, será necessária uma dose extra de paciência e concentração de sua parte para analisar o episódio histórico elaborado, sua síntese a ser lida pelos alunos e as atividades didáticas sugeridas.*
- ☞ *Ao manifestar suas opiniões e contribuições a respeito desse conjunto de materiais, peço-lhe que responda às sete (7) questões apresentadas a seguir, com a máxima honestidade e precisão, e reforço meu compromisso de manter em total anonimato e sigilo seus dados pessoais, até porque nenhuma identificação lhe é solicitada ao acessar e responder o questionário.*
- ☞ *Para evitar comparações e um estabelecimento prévio de relações de dependência entre as questões oferecidas, cada uma delas é apresentada em separado das demais, sendo necessário concluir e submeter sua resposta para que a próxima questão fique disponível. Portanto, peço-lhe muita atenção ao submeter cada questão, evitando tentar acessá-la após sua submissão.*
- ☞ *Por sua preciosa atenção e inestimável colaboração, novamente apresento-lhe meus mais sinceros agradecimentos.*

Feita a caracterização sumária dos respondentes do QF e a apresentação dos detalhes a respeito do convite e dos esclarecimentos feitos a tais sujeitos em relação aos principais aspectos e propósitos desse instrumento de pesquisa, exponho a seguir a redação de cada questão (ou grupo de questões) integrante do QF, acompanhada por comentários sobre a finalidade de cada uma delas.

Questão 1: Sobre o **episódio histórico** elaborado, a linguagem utilizada e a apresentação de ideias e fatos são claras e objetivas, seja para o professor de Física ou para seus alunos?

- *Sim. Por quê?*
- *Não. Por quê?*
- *Em partes. Por quê?*

O questionário é iniciado por duas questões que focalizam características do episódio histórico elaborado, conforme evidencia o destaque (em negrito) utilizado em sua redação. Esta primeira questão foi formulada com o interesse de verificar junto aos professores o nível de adequação da linguagem empregada na redação do episódio em relação ao seu público-alvo (professores e alunos), bem como da forma como as ideias são apresentadas e encadeadas ao longo do desenvolvimento do texto. Por se tratar de um texto que, em última instância, busca trabalhar com exemplos da presença de alguns aspectos caracterizadores de uma determinada vertente historiográfica, há sempre o risco de se conferir a esse material um grau de complexidade, enredamento e articulação de ideias e fatos incompatíveis com aquilo que professores e estudantes do ensino médio estão acostumados a mobilizar nas situações didáticas por eles mais habitualmente vivenciadas.

Questão 2: O **episódio histórico** produzido permite a exemplificação de qual(is) critério(s) historiográfico(s) característico(s) da Moderna Historiografia da Ciência?

- *Análise pontual e minuciosa de estudos de caso, neles priorizando a investigação aprofundada de algumas personalidades, períodos ou acontecimentos específicos.*
- *Apresentação das ideias atreladas ao contexto sócio-histórico-cultural em que foram propostas.*
- *Valorização das controvérsias, destacando o papel desempenhado por diversas personalidades na construção da ciência.*
- *Identificação de diferentes níveis superpostos de continuidades e rupturas na constituição das ideias científicas ao longo da história.*
- *Destaque às particularidades das interpretações das várias fontes utilizadas pelos cientistas, incluindo as de caráter extracientífico.*
- *Reconhecimento da importância de outras tradições intelectuais no desenvolvimento da ciência (e não somente as de origem europeia).*
- *Realce à influência de outros tipos de fatores externos (de natureza psicológica, religiosa e social, por exemplo) na prática científica.*
- *Nenhuma.*

Admitindo que os conhecimentos relacionados às características da MHC sigam suficientemente presentes na lembrança dos professores escolhidos para participar desta última etapa da pesquisa, esta questão visava verificar a efetividade dos aspectos abordados ao longo do desenvolvimento do episódio no tocante a evidenciar a presença de alguns dos critérios próprios e específicos dessa vertente

historiográfica. Para tanto, os respondentes tinham a possibilidade de marcar uma ou mais das possibilidades apresentadas, inclusive uma (“nenhuma”) negando totalmente a capacidade do material produzido em apresentar relação de identidade com a MHC.

Questão 3: *A **síntese** do texto referente ao episódio histórico é suficientemente clara e concisa, de modo a oferecer aos alunos uma boa noção das ideias presentes no texto original?*

- *Sim. Por quê?*
- *Não. Por quê?*

Esta questão destinava-se a avaliar características da síntese constituída a partir do episódio histórico elaborado, uma prática com a qual esse grupo de respondentes foi sistematicamente colocado em contato nas aulas de uma disciplina, semestral e obrigatória, que comigo realizaram no curso de graduação em Física do IFSP-SP. Preocupado em resumir o texto, de modo a permitir ao professor utilizá-lo junto aos alunos durante o tempo didático disponível para cada uma das suas aulas, elaborei esta questão com objetivo de verificar se a síntese produzida era suficientemente sucinta, sem ter se tornado resumida demais, sob o risco de deixar de oferecer as informações necessárias para a compreensão das ideias e objetivos do estudo de caso realizado.

Questão 4: *As **sugestões de atividades didáticas** foram realizadas de forma clara e concisa, permitindo ao professor compreendê-las e delas se utilizar conforme suas necessidades e possibilidades?*

- *Sim. Por quê?*
- *Não. Por quê?*

Abrindo o bloco de questões destinadas a verificar a eficácia do conjunto de atividades didáticas sugeridas em relação ao contexto do trabalho do professor de Física do ensino médio, esta questão tinha o objetivo de averiguar a qualidade da linguagem utilizada na apresentação das atividades e, principalmente, se a organização e o encadeamento das ideias e as sugestões oferecidas promoveram suficiente entendimento acerca das ações a serem mobilizadas para a execução dessas operações, bem como dos propósitos e objetivos a elas relacionados. Para essa avaliação, os respondentes deveriam conciliar conhecimentos referentes aos recursos / estratégias didáticas presentes nas atividades com a compreensão da dinâmica inerente ao trabalho em sala de aula, que eles tiveram oportunidade de vivenciar e incorporar a partir do momento em que iniciaram a prática docente profissional.

Questão 5: Na sua opinião, as **atividades didáticas sugeridas** oferecem ganhos reais para a qualidade da exposição dos conteúdos científicos da Física (Ensino Médio) em comparação com o que você originalmente faria?

- Sim. Por quê?
- Não. Por quê?

Como uma extensão da questão anterior, o que aqui se busca é a verificação do caráter inovador e pragmático das atividades didáticas sugeridas. Resgatando as questões que inicialmente guiaram esta investigação, e estabelecendo uma interlocução com as respostas obtidas, observamos que os questionamentos realizados pelo QD e pelo QI (detalhados no capítulo 2 deste trabalho) geraram respostas indicando a necessidade de se agregar outras estratégias didáticas à HC trabalhada nas aulas de Física. Portanto, ao analisar esse conjunto de atividades, os professores teriam a oportunidade de identificar e antecipar inadequações ou imprecisões na proposta, considerando a realidade de suas salas de aula e suas concepções acerca do ensino de Física.

Questão 6: Tendo por base as dificuldades associadas ao uso da HC como recurso didático nas aulas de Física, você identifica possibilidades de superá-las (ou contorná-las) pela forma como o **episódio histórico** foi elaborado e pela maneira pela qual as **atividades didáticas sugeridas** foram constituídas e articuladas?

- Sim. Por quê?
- Não. Por quê?

Pelo exposto na caracterização dos respondentes do QF, pode-se inferir que esse grupo de profissionais já teve contato – prático e teórico – com os principais obstáculos e dificuldades inerentes ao trabalho com a HC nas aulas de Física da escola básica. Por essa razão, tais contratempos não foram mais uma vez trazidos formalmente à tona, conforme já ocorreu nos questionários aplicados nos estágios anteriores deste trabalho. Assim sendo, essa questão concentrava-se na percepção dos respondentes a respeito dos aspectos presentes nos dois materiais produzidos (episódio e atividades) capazes de oferecer alternativas para a superação dos empecilhos, inconsistências e gargalos tradicionalmente interpostos à execução da aproximação aqui intentada.

Questão 7: O fato de boa parte das **atividades didáticas sugeridas** apoiarem-se em um episódio da história da ciência nacional pode oferecer algum diferencial em relação aos possíveis resultados esperados da aplicação desse material?

- Sim. Qual(is)? Por quê?

○ *Não. Por quê?*

Apesar de ser a última questão, esta talvez seja a mais importante para os propósitos originais desta investigação, visto que vai diretamente ao encontro das duas questões de pesquisa que qualifiquei anteriormente, na introdução desta tese, como de caráter “prescritivo”. O aspecto deste trabalho ao qual atribuo maior traço de inovação e singularidade é a indicação da história da ciência e da tecnologia nacionais como referências para o professor de Física realizar a inserção da HC em suas aulas, de forma sistemática e em sintonia com outras estratégias didáticas. Portanto, considero determinante para os propósitos desta pesquisa a opinião dos professores a respeito de haver, ou não, no material que avaliaram, elementos capazes de oferecer ganhos concretos para a utilização da HC nas aulas de Física. As respostas obtidas para essa questão são especialmente importantes para a indicação da ciência nacional como elemento positivamente diferenciado na formação dos docentes de Física e para sua eventual prescrição no momento de se elaborar a grade curricular dos cursos de licenciatura. Do contrário, muito do que aqui foi advogado e defendido necessitaria ser revisto.

Feito o detalhamento necessário para a caracterização dos respondentes e a compreensão das intenções existentes por trás de cada questão formulada para o QF, a próxima seção oferece a íntegra das respostas obtidas e uma tentativa de categorização das mesmas em conformidade com os objetivos desta investigação.

4.2 – A devolutiva dos licenciados

Após receber todas as respostas referentes ao QF, mantive o critério utilizado nos questionários anteriores e procurei organizar esse material de maneira a respeitar as características de cada questão. Exceção feita à questão 2, cujas respostas foram organizadas em uma tabela indicando o número de professores que apontou cada critério historiográfico contemplado, todas as demais tiveram a íntegra das respostas oferecidas transcritas em quadros, de modo a viabilizar a identificação de regularidades e padrões que permitissem a constituição de categorias destinadas a facilitar a leitura e a compreensão das opiniões proferidas pelos professores.

Sobre o **episódio histórico** elaborado, a linguagem utilizada e a apresentação de ideias e fatos são claras e objetivas, seja para o professor de Física ou para seus alunos? Por quê?

Sim	As informações apresentam fatos, análises e correlações sobre aspectos científicos, históricos e políticos sobre a energia nuclear no Brasil. A linguagem utilizada apresenta clareza e objetividade, tanto para os professores, quanto para os alunos.
	Linguagem culta e no entanto acessível que possibilita em especial ao aluno de ensino médio um contato efetivo com a escrita científica. Para o professor uma proposta clara e direta sobre

	um assunto que ainda é pouco abordado no ensino médio.
	Trata-se de uma abordagem direta e bem elaborada para o contexto da sala de aula. O estilo utilizado atinge diretamente o público lhe causando curiosidade sobre o tema, o que proporciona a produção de novas questões que tiram os estudantes do círculo vicioso de abordagens tradicionalistas.
	Sim, tanto o material mais completo para o professor quanto a síntese sobre o episódio histórico ficaram claras. A linguagem utilizada torna a leitura do material agradável. Além do mais o assunto sobre usinas nucleares brasileiras é bem interessante para se discutir com os alunos, já que passamos um momento político muito delicado.
	A linguagem segue praticamente o mesmo padrão utilizado nos livros didáticos que tanto o docente quanto os alunos já estão acostumados.
	Desde a linguagem utilizada na Síntese do Histórico, até as Atividades Sugeridas (tipo de abordagem frente ao aluno e sugestões ao docente) abrangem um conteúdo rico, detalhado e ao mesmo tempo prático no qual a facilidade de compreensão tanto do discente quanto do docente são nítidas. Fica muito claro, também, especialmente ao docente a facilidade de interface do material (Episódio Histórico) com outras disciplinas.
Em partes	A leitura do episódio histórico é mais indicada para professores formados ou que ainda cursam o ensino superior em virtude da série de informações específicas, que mesmo sendo explicadas, tornam o texto longo fazendo com que a questão objetividade no mesmo seja reduzida. A linguagem utilizada, que visa discutir fatos ocorridos ao longo da história, está apropriada e também reforça o citado no PCN+ que destaca a importância do aluno compreender o mundo em que vive. Já quanto à utilização do episódio com alunos do Ensino Médio, seria possível somente mediante adaptações e cortes do mesmo com a intenção de torná-lo mais “imediatos” e menos detalhista.
	Utilizando apenas a introdução como referência ficam algumas lacunas; entretanto, com a utilização dos vídeos e das referências, o episódio escolhido fica melhor apresentado.
Não	

Quadro 10: Íntegra das respostas dadas pelos professores para a 1ª. questão do QF.

<i>O episódio histórico produzido permite a exemplificação de qual(is) critério(s) historiográfico(s) característico(s) da Moderna Historiografia da Ciência? Por quê?</i>	
Critério	N
Apresentação das ideias atreladas ao contexto sócio-histórico-cultural em que foram propostas	7
Valorização das controvérsias, destacando o papel desempenhado por diversas personalidades na construção da ciência	5
Realce à influência de outros tipos de fatores externos (de natureza psicológica, religiosa e social, por exemplo) na prática científica	5
Análise pontual e minuciosa de estudos de caso, neles priorizando a investigação aprofundada de algumas personalidades, períodos ou acontecimentos específicos	4
Identificação de diferentes níveis superpostos de continuidades e rupturas na constituição das ideias científicas ao longo da história	3
Destaque às particularidades das interpretações das várias fontes utilizadas pelos cientistas, incluindo as de caráter extracientífico	3

Reconhecimento da importância de outras tradições intelectuais no desenvolvimento da ciência (e não somente as de origem europeia)	2
Nenhuma	0

Tabela 23: Número de indicações (N) para cada critério historiográfico caracterizador da MHC contemplado pela episódio histórico, no contexto da 2ª. questão do QF.

<i>A síntese do texto referente ao episódio histórico é suficientemente clara e concisa, de modo a oferecer aos alunos uma boa noção das ideias presentes no texto original? Por quê?</i>	
Sim	Porque a síntese foca nas ideias principais presentes no episódio histórico, deixando o texto original mais fácil de ser compreendido. A diversidade de informações presentes no episódio histórico é desnecessária para o entendimento da ideia principal, embora interessante, considero que o original seria melhor aproveitado se utilizado em uma matéria específica de HC.
	Mas apenas uma noção.
	A síntese aborda os principais tópicos apresentados no texto original de maneira clara e concisa.
	Apresenta as ideias e relatos de maneira clara e objetiva; sintetiza o texto de modo a deixá-lo mais acessível ao aluno sem retirar a essência do mesmo.
	Pois leva ao contexto do estudante uma breve explanação sobre o tema, suficiente para que o docente introduza questões que venham a "provocar" a discussão sobre o assunto.
	A síntese apresenta os principais pontos, sem reter-se a explicações mais minuciosas.
	Além da síntese apresentar os pontos principais (que podem ser facilmente contextualizados e trabalhado em atividades e/ou discussão), é apresentada de forma direta e que prende a atenção do aluno, sem precisar detalhar demais, tornando uma leitura cansativa. Por ser bastante conciso e objetivo, faz com que desperte certa curiosidade em alguns pontos, de forma que possam ser discutidos de alguma forma posteriormente (ou mesmo ao decorrer das atividades) junto ao professor/grupo. Exemplo: É citado o tipo de reator utilizado em Angra I da seguinte forma "Pressured Water Reactor (PWR), o qual é alimentado por urânio enriquecido e refrigerado a água leve." que podem levantar questões como: "o que é urânio enriquecido?", "o que é água leve?". Com o material o aluno tem uma boa noção do todo e ao mesmo tempo abre espaço para questionamentos que podem aparecer dependendo do nível de conhecimento do aluno referente às ideias tratadas.
Em partes	A síntese do texto é boa, apresenta os principais pontos aprofundados no material para o professor. No entanto, é preciso pensar em como trabalhar este tipo de leitura com estudantes que estão acostumados com os 144 caracteres nas redes sociais. Apesar de ser conciso e ter apenas duas laudas, sua simples leitura não garante a absorção das ideias do texto original.
Não	

Quadro 11: Íntegra das respostas dadas pelos professores para a 3ª. questão do QF.

<i>As sugestões de atividades didáticas foram realizadas de forma clara e concisa, permitindo ao professor compreendê-las e delas se utilizar conforme suas necessidades e possibilidades? Por quê?</i>	
Sim	Porque as atividades didáticas foram realizadas com o emprego de diversas metodologias, tais como: vídeos, músicas, softwares, experimentos e afins. Independentemente do grau de

	domínio do conteúdo pelo docente, por conter informações claras e concisas, conseguirá utilizá-las sem problema algum. Logicamente que tais atividades são sugestões e cabe ao professor analisar o melhor momento a empregá-las, assim como as adaptações que julgar [necessárias] efetuar no decorrer da utilização.
	As sugestões de atividades didáticas apresentam excelente versatilidade para o uso e aplicação em sala de aula. A possibilidade de escolha das temáticas das aulas permite ao professor sua utilização na forma que julgar mais adequada para si ou para os alunos podendo, inclusive, promover uma abordagem interdisciplinar.
	A proposta de atividades contemplam diferentes esferas que permeiam o processo de ensino aprendizagem da Física. Na mesma se observa o uso da interdisciplinaridade com literatura e peça teatral, além de se utilizar de diferentes ferramentas previstas pelo PCNEM aplicadas nas atividades voltadas à aprendizagem do aluno. A proposta de atividade didática permite ao professor uma série de possibilidades que podem ser adequadas à necessidade do plano de aula do mesmo, além de uma abordagem diferenciada da Física nuclear.
	Fugindo do modelo didático/editorial que vê a abordagem da HC como algo a ser preenchido nos livros didáticos em formato de "boxes", as atividades mostram-se muito valiosas, tanto como um produto da boa abordagem do assunto através do episódio histórico (que foge do formato enciclopédico), como de uma rica maneira de se propor atividades que adotam práticas não convencionais de ensino, como o uso de simuladores, e deixa clara a possibilidade de interação com outras disciplinas, como nas atividades que envolvem probabilidade (pouco ilustradas nas aulas de matemática) e no debate promovido no fórum (ajudando o estudante a reforçar ideias ou refutá-las através da sua defesa ou crítica, postura desejada em disciplinas voltadas para as humanas).
	A diversidade de atividades didáticas sugeridas foi o diferencial oferecido por este material. Diversas vezes tive interesse em utilizar História da Ciência em minhas aulas, mas não sabia ao certo como fazer isso. Penso em utilizar muitas das ideias sugeridas em minha aulas.
	Inclusive, por não requerer uma linearidade nas atividades, dá-se ao professor a liberdade de escolher quais atividades ele julga adequadas para o desenvolvimento da Física com seus estudantes, levando em conta recursos e características próprias da turma.
	Absolutamente sim. O material é totalmente detalhado de forma a sugerir caminhos que o docente pode tomar com as atividades. O material ainda é apresentado de forma que não necessite seguir uma sequência previamente definida, ou seja, o professor tem liberdade de encaixar (ou não) as atividades conforme deseja, escolhendo aquelas que mais se adaptam ao tema que deseja abordar. As atividades são flexíveis para que ele trabalhe de forma integral ou parcial.
Em partes	<p>Mesmo que ele não possua o conhecimento adequado para aplicar as atividades, o material como um todo permite ao professor se aprofundar no tema. Porém, tenho algumas dúvidas e observações:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A atividade 1, questão 3, apenas com o texto o aluno será capaz de responder? Achei o assunto muito extenso para aquele texto. - Não entendi o objetivo da atividade 4. - As atividades 5, 6, 7 e 8 seriam compostas por aulas tradicionais? Não ficou claro como o professor daria essas aulas... na verdade, não ficou claro na proposta como casaria as aulas de Física com as demais atividades de forma a fugir do tradicional. Talvez eu tenha ficado com essa dúvida por pensar no tempo que cada atividade levaria, e como poderia trabalhar a Física sem recorrer a aula expositiva para explicar os fenômenos da radiação.
Não	

Quadro 12: Íntegra das respostas dadas pelos professores para a 4ª. questão do QF.

Na sua opinião, as atividades didáticas sugeridas oferecem ganhos reais para a qualidade da exposição dos conteúdos científicos da Física (Ensino Médio) em comparação com o que você originalmente faria? Por quê?	
Sim	Porque as atividades didáticas permitem não somente estimular a criticidade epistemológica do aluno, mas também que o docente dialogue com diversas disciplinas. A maneira como as atividades didáticas foram apresentadas (com a exploração de recursos diversificados) enfatiza que os conteúdos científicos estão presentes não somente na teoria, mas também em nossa atualidade.
	Considerando que o professor disponha do tempo necessário para a utilização adequada da proposta, a atividade didática oferece múltiplas possibilidades de exposição dos conteúdos. Por isso, haveria um ganho na qualidade da apresentação dos conteúdos.
	Faz uso de recursos didáticos diferenciados, que além de contextualizar temporalmente os avanços científicos alicerçados nos períodos de guerra, possibilita a discussão de como que o investimento em ciência ocorreu também em função de interesses políticos; Mesmo fazendo uma abordagem diferenciada, a proposta não abre mão da abordagem dos conceitos físicos, das simbologias e linguagens próprias desta ciência; Possibilita ao aluno e ao professor formalizarem uma situação onde haja a exposição de ideias no ambiente escolar, de modo a se construir concepções alicerçadas em fatos e dados verídicos.
	Tais atividades podem ser vistas em seu conjunto como uma nova "instrumentação" para o ensino de FMC. Há uma distribuição muito interessante de práticas que além de possibilitar uma abordagem menos "matematizada" da Física, se mostram potencialmente fortes para também promover um maior diálogo com outras disciplinas do currículo. Na abordagem que hoje faço no ensino médio, não é possível fugir das abordagens tradicionalistas dos sistemas didáticos (apostilas) que, embora sejam pautados em novas tecnologias, não mudam seus materiais, apenas os transformando em "arquivos digitais". Assim vejo que as atividades didáticas sugeridas confrontam o método de abordagem que é senso comum na educação básica e podem promover mudanças significativas na qualidade de ensino de Física na educação básica no nosso país.
	Porque, pensando em utilizar História da Ciência em minhas aulas, tentava fazer leituras de textos, apresentação de slides e discussão de vídeos. As atividades sugeridas apontam novas possibilidades que adaptadas dentro do contexto escolar corretamente podem render bons resultados.
	Dissociar teoria e prática é típico da escola tradicional e reacionária. Uma educação libertadora depende do atrelamento entre a teoria e trabalhos práticos. As atividades sugeridas no texto apresentam ideias bem trabalhadas de como convidar os alunos a um entendimento mais crítico do episódio histórico.
	A forma com que as atividades estão contextualizadas permite com que o professor possa trabalhar facilmente diversos conteúdos que ele já tenha intenção de abordar e ainda tem a oportunidade de criar integração com outras disciplinas.
Em partes	Algumas atividades acho desnecessárias, uma vez que fazem parte do componente curricular da disciplina de história, sendo assim, há a possibilidade de se abordar o mesmo assunto duas vezes.
Não	

Quadro 13: Íntegra das respostas dadas pelos professores para a 5ª. questão do QF.

<p><i>Tendo por base as dificuldades associadas ao uso da HC como recurso didático nas aulas de Física, você identifica possibilidades de superá-las (ou contorná-las) pela forma como o episódio histórico foi elaborado e pela maneira pela qual as atividades didáticas sugeridas foram constituídas e articuladas? Por quê?</i></p>	
Sim	<p>Considerando que o episódio histórico será adaptado com a finalidade de ser aplicado no Ensino Médio, ou até mesmo que será apresentado pelo professor, terá a função de realizar a transposição didática do conteúdo, considero que as dificuldades associadas ao uso da HC podem ser contornadas. Ainda mais se as atividades didáticas sugeridas forem usadas. Pois, atualmente, na maioria das aulas de Física os alunos são bombardeados por conteúdos teóricos que não despertam o interesse pelo aprendizado da matéria em questão. Sob esse viés, enfatizo que as diversas formas de expor o conteúdo da HC (com músicas, debates etc.) levam o aluno a refletir sobre as diversas formas que o aprendizado pode ocorrer e de um modo bem mais interativo e menos entediante.</p>
	<p>O material é diversificado.</p>
	<p>A atividade didática apresenta um grande potencial para o uso da HC como recurso didático. As dificuldades associadas ao uso da HC são diversas, tais como, falta de currículo adequado nos cursos de formação de professores, falta de motivação dos professores, falta de tempo para preparação de atividades, falta de material didático apropriado. A atividade didática pode contornar algumas dificuldades, mas a superação exige a adoção de um conjunto de medidas.</p>
	<p>Pelo fato de explicitar que todo feito/descoberta científica não ocorreu em contexto isolado. Essa sequência permite ao aluno, bem como ao professor, colocar temporalmente e espacialmente as descobertas científicas ocorridas no período considerado, além de mostrar que muito do desenvolvimento da Física nuclear da época encontrava-se permeado por uma série de interesses políticos e sociais, que não priorizavam necessariamente a ciência. Desse modo, o aluno que geralmente questiona o por quê aprender determinado assunto de Física, consegue perceber que a Física está presente [em] assuntos abordados em outras disciplinas, além de ter contato com uma abordagem de Física que transcende cálculos, fórmulas e dimensões das grandezas.</p>
	<p>Justamente pela forma que foi proposta, fugindo do esquema tradicional de ensino. A título de exemplo, atualmente em um dos colégio que trabalho temos o sistema apostilado associado ao uso de "Ipad's", que entre outras possibilidades pode ser usado com simuladores do Phet, que uso com certa regularidade para complementar minhas aulas. Mas o sistema de ensino não propõe nada nesse sentido, é apenas uma estratégia que eu vejo como salutar para um melhor entendimento dos conteúdos que cobrem diversos temas abordados no ensino médio. Na proposta didática aqui apresentada, vejo que além de se abordar a HC como recurso didático, temos a possibilidade de associá-la a outras estratégias que a fortalecem (como o uso de debates e de simuladores). Sim, vejo que a elaboração do episódio histórico foi muito feliz e parte disso vem com as estratégias que a fortalecem.</p>
	<p>Sim, algumas dificuldades com o uso da HC nas aulas de Física pode ser contornadas com o episódio histórico elaborado. A compreensão da não linearidade histórica e a não neutralidade da ciência são apenas alguns dos exemplos que podem ser explorados. Tais dimensões são muito dificilmente trabalhadas em aulas tradicionais de Física na escola básica.</p>
	<p>Completamente. O episódio é de interesse geral e cria não apenas um terreno favorável ao ensino de HC como possibilidades de ligação entre essa questão e diversas outras áreas, tanto dentro da Física quanto em outras ciências, inclusive as "humanas".</p>

	Com certeza o material permite que o uso da HC seja facilmente inserido, pois é tratado de forma muito clara, o que pode muito bem resultar em uma boa absorção do conteúdo por parte do discente (compreensão e interesse, uma vez que o conteúdo está envolvido nitidamente com outros contextos, o que geralmente o aluno não tem ideia) e do docente (material detalhado e atividades flexíveis que podem ser trabalhadas pelo professor sem nenhuma dificuldade - seja tempo ou conteúdo escolhido pelo professor - material facilmente maleável).
Em partes	
Não	

Quadro 14: Íntegra das respostas dadas pelos professores para a 6ª. questão do QF.

<i>O fato de boa parte das atividades didáticas sugeridas apoiarem-se em um episódio da história da ciência nacional pode oferecer algum diferencial em relação aos possíveis resultados esperados da aplicação desse material? Quais? Por quê?</i>	
Sim	O diferencial em relação aos possíveis resultados está no interesse que pode ser despertado no aluno em pesquisar mais sobre acontecimentos históricos acerca do país em que o mesmo vive. Já que as atividades e o episódio destacam informações passadas e que influenciaram de alguma forma na nossa economia e atualidade.
	Não é comum associarmos a segunda guerra mundial com o Brasil, tampouco saber qual foi nosso papel ou a repercussão que esse episódio nos trouxe.
	O desconhecimento da produção científica nacional e a maneira como o episódio é apresentado podem surpreender positivamente quanto ao resultado esperado.
	Por evidenciar o fato pouco abordado de que o Brasil se encontra inserido na produção e no desenvolvimento científico mundial, além de explicitar o caráter científico na identidade cultural brasileira.
	<p>- O debate através do fórum é um grande exemplo, visto que atualmente as questões de modelos sustentáveis sempre aparecem no noticiário, e o modelo de gestão da água também foi muito debatido nas últimas eleições. O que tais questões guardam de relação com o episódio histórico proposto passa pela discussão de modelos de gestão de energia e bens naturais a médio prazo. Cabe lembrar que um jornal veiculado no exterior levantou recentemente uma questão: Como pode uma metrópole como São Paulo sofrer com crise hídrica se há um rio que corta a cidade? Será que um episódio histórico como o proposto pode formar cidadãos mais conscientes ao ponto de não terem que responder, por exemplo, por que o Brasil investiu tanto em recursos controversos, como a produção de energia por meio nuclear, ao invés de cuidar do bem natural que são suas bacias hidrográficas mal exploradas ao longo da história?</p> <p>- O episódio pode também ajudar a entender como a política influencia a ciência e como influenciou em razão do regime ditatorial militar que perdurou por mais de duas décadas.</p> <p>- Quando se propõe que se abram os olhos pra formação dos órgãos relacionados a pesquisa, como é o caso do CNPq e CBPF, é esperado que o estudante volte seus olhos para a ciência nacional, que foi buscar formação no exterior (em grande parte com especialistas que viveram o período da guerra) e montaram muitos dos centros de pesquisa das universidades brasileiras que são até hoje referência nacional.</p>
	Sim, mesmo após as diferentes reformulações dos Parâmetros Curriculares Nacional os livros didáticos e sistemas apostilados de ensino têm muita dificuldade em situar a produção científica brasileira no contexto dos conteúdos de Física para a escola básica. Além da maioria dos conteúdos não estarem relacionados com a época em que os alunos vivem, também não

	<p>trazem referências do local em que vivem. E isso é muito ruim. O episódio histórico elaborado disponibiliza reais recursos para que qualquer professor de Física dedicado possa contornar esse problema, pois se trata de um tema essencialmente atual e nacional.</p> <p>O projeto nuclear brasileiro está, até hoje, na ordem do dia. O aluno, de uma forma ou de outra, já foi exposto a essa discussão. Além disso, por ser um episódio nacional, é mais próximo ao universo do estudante, dando mais realidade e tornando o episódio mais palpável. Para finalizar, acredito que seja de bom tom que nossa produção cultural em sala de aula volte-se a temas nacionais, ao invés de estudar questões que tocam aos países centrais, tão distantes de nossa realidade.</p> <p>Geralmente quando se trata de ciência o aluno tem como base um preconceito de que qualquer estudo, descoberta, pesquisas e desenvolvimento parecem distantes e associados às grandes figuras da história, sendo estas ícones internacionais. Ao abranger um conteúdo que se apoia em história da ciência nacional, o discente pode perceber como a política de um país está fortemente apoiada em ciência e tecnologia, mesmo que seja o Brasil, no qual (no geral) o aluno não tem ideia, uma vez que não há tanta divulgação/repercussão (especialmente na escola, seria o canal ideal para muitas abordagens nesse sentido). Sendo assim, a aplicação do material oferece um diferencial nesse sentido, por estar mergulhando em um contexto em que geralmente o aluno não tem ideia, o que pode muito bem prender sua atenção e, principalmente, educá-lo cientificamente.</p>
Não	

Quadro 15: Íntegra das respostas dadas pelos professores para a 7ª. questão do QF.

4.3 – Categorização e análise das respostas obtidas

A leitura sistemática desse conjunto de respostas permitiu-me constatar a complexidade inerente às tentativas de codificação a serem promovidas em investigações qualitativas, destacadas por Bogdan e Biklen (1994):

Esse tipo de atividade ilustra o que o investigador qualitativo faz ao desenvolver um sistema de codificação para organizar os dados, embora não seja uma tarefa fácil. As situações são mais complexas, os materiais a organizar não são tão facilmente separáveis em unidades, não existem apenas objetos, nem o sistema de categorização se mostra tão auto-evidente ou delimitado [...] À medida que vai lendo os dados, repetem-se ou destacam-se certas palavras, padrões de comportamento, formas dos sujeitos pensarem. O desenvolvimento de um sistema de codificação envolve vários passos: percorre os dados em procura de regularidades e padrões bem como de tópicos presentes nos dados e, em seguida, escreve palavras e frases que representam esses mesmos tópicos e padrões. Estas palavras ou frases são categorias de codificação (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 221. Destaque no original).

Seguindo as prescrições oferecidas pelos pesquisadores referenciados, efetuei um exame minucioso das respostas com o objetivo de identificar algumas recorrências mais marcantes.

No caso, os três materiais (episódio, síntese e atividades sugeridas) produzidos serviram de ponto de partida para a distribuição das categorias e codificações que constituí. Cabe ressaltar que a categorização e a análise das respostas referentes à

última questão – relacionadas à ciência nacional e determinantes para a busca de resposta para as questões cruciais desta pesquisa – segue outra forma de classificação, conforme mostrado no quadro 14.

Desse modo, foram constituídas três categorias de análise (linguagem, estruturação e aplicabilidade), utilizadas em conjunto ou parcialmente de acordo com as características de cada material referenciado. Os quadros 16, 17 e 18 apresentam a disposição final da categorização efetuada, seguidos da análise dos principais resultados obtidos.

Categorias	Códigos de definição de situação	Dados textuais
Linguagem	Clareza, concisão e objetividade	<p>“A linguagem utilizada apresenta clareza e objetividade, tanto para os professores, quanto para os alunos”</p> <p>“Linguagem culta e no entanto acessível”</p> <p>“A linguagem utilizada torna a leitura do material agradável”</p> <p>“A linguagem é praticamente o mesmo padrão utilizado nos livros didáticos que tanto o docente quanto os alunos já estão acostumados”</p> <p>“... a facilidade de compreensão tanto do discente quanto do docente são nítidas”</p> <p>“A linguagem utilizada, que visa discutir fatos ocorridos ao longo da história, está apropriada”</p>
Estruturação	Abordagem diferenciada de um tema da FMC	<p>“As informações apresentam fatos, análises e correlações sobre aspectos científicos, históricos e políticos sobre a energia nuclear no Brasil”</p> <p>“... o assunto sobre usinas nucleares brasileiras é bem interessante para se discutir com os alunos, já que passamos um momento político muito delicado”</p> <p>“O episódio é de interesse geral e cria não apenas um terreno favorável ao ensino de HC como possibilidades de ligação entre essa questão e diversas outras áreas, tanto dentro da Física quanto em outras ciências, inclusive as ‘humanas’”</p>
	Permite o aprofundamento dos temas abordados por parte do docente	<p>“Para o professor uma proposta clara e direta sobre um assunto que ainda é pouco abordado no ensino médio”</p> <p>“Fica muito claro, também, especialmente ao docente a facilidade de interface do material (Episódio Histórico) com outras disciplinas”</p> <p>“... proporciona a produção de novas questões que tiram os estudantes do círculo vicioso de abordagens tradicionalistas”</p> <p>“... indicada para professores formados ou que ainda cursam o ensino superior em virtude da série de informações específicas...”</p>

Quadro 16: Categorização das respostas dadas pelos professores para as principais características do **episódio histórico** elaborado.

A diversidade dos argumentos utilizados pelos respondentes no sentido de conferir ao episódio elaborado um bom nível de clareza, concisão e objetividade é ampla, permitindo afastar eventuais preocupações com a necessidade de promover acertos na linguagem utilizada na redação desse material.

Quanto à estruturação do texto, foi de grande importância e significado verificar que boa parte dos respondentes tenha notado a possibilidade desse recurso viabilizar o aprofundamento dos temas da Física abordados por parte do docente, de modo a permitir que assuntos de diversas naturezas e propósitos sejam trazidos à tona e abordados a partir da leitura e da discussão desse material. Adiciona-se a esse fato a real perspectiva do docente poder aprender um pouco mais sobre importantes nuances dos conteúdos a serem desenvolvidos em sala de aula.

Outro aspecto importante associado a essa estruturação foi a identificação, por parte dos respondentes, do potencial do texto em motivar discussões no entorno de temáticas atuais, comumente associadas a outras disciplinas da grade curricular do ensino médio. Ou seja, fica latente a possibilidade desse material servir de ponto de partida para ações interdisciplinares, evidenciando a existência e a importância das relações envolvendo ciência, tecnologia e sociedade.

Categorias	Códigos de definição de situação	Dados textuais
Linguagem	Clareza, concisão e objetividade	<p>“... aborda os principais tópicos apresentados no texto original de maneira clara e concisa”</p> <p>“... tanto o material mais completo para o professor quanto a síntese sobre o episódio histórico ficaram claras.</p> <p>“Apresenta as ideias e relatos de maneira clara e objetiva”</p> <p>“... sintetiza o texto de modo a deixá-lo mais acessível ao aluno sem retirar a essência do mesmo.”</p> <p>“... apresenta os principais pontos, sem reter-se a explicações mais minuciosas”</p> <p>“...leva ao contexto do estudante uma breve explanação sobre o tema...”</p> <p>“...é apresentada de forma direta e que prende a atenção do aluno sem precisar detalhar demais tornando uma leitura cansativa”</p> <p>“...apresenta os principais pontos aprofundados no material para o professor”</p>
Estruturação	Permite o aprofundamento dos temas abordados por parte do docente	<p>“... suficiente para que o docente introduza questões que venham a ‘provocar’ a discussão sobre o assunto”</p> <p>“... leva ao contexto do estudante uma breve explanação sobre o tema, suficiente para que o docente introduza questões que</p>

		venham a ‘provocar’ a discussão sobre o assunto” “... faz com que desperte certa curiosidade em alguns pontos, de forma que possam ser discutidos de alguma forma posteriormente (ou mesmo ao decorrer das atividades) junto ao professor/grupo”
--	--	---

Quadro 17: Categorização das respostas dadas pelos professores para as principais características da **síntese** do episódio histórico elaborado.

Como já foi comentado, a possibilidade de fazer o aluno compreender as principais ideias do episódio histórico a partir da leitura de não mais que duas ou três laudas configura-se no objetivo que persigo ao propor a elaboração de sínteses dos textos escolhidos para serem discutidos em contexto didático. Porém, essa é uma ação que exige muita sensibilidade por parte do docente em relação àquilo que realmente seria essencial ser mantido, além de certa prática para articular e organizar as ideias que fundamentam a seleção de conteúdos promovida.

Outro ponto importante se refere à possibilidade de os alunos se interessarem pela leitura do texto original, em função da forma pela qual a síntese foi estruturada. Essa possibilidade pode ser incentivada por meio da proposição de questões pontuais pelo docente, segundo seus interesses a respeito da temática a ser explorada e seus objetivos de ensino.

Categorias	Códigos de definição de situação	Dados textuais
Linguagem	Clareza e concisão	“Independentemente do grau de domínio do conteúdo pelo docente, por conter informações claras e concisas, conseguirá utilizá-las sem problema algum” “As atividades sugeridas no texto apresentam ideias bem trabalhadas” “... o material permite que o uso da HC seja facilmente inserido, pois é tratado de forma muito clara...”
Estruturação	Diversidade e articulação dos recursos mobilizados	“... as atividades didáticas foram realizadas com o emprego de diversas metodologias, tais como: vídeos, músicas, softwares, experimentos e afins” “... uma rica maneira de se propor atividades que adotam práticas não convencionais de ensino, como o uso de simuladores...” “A diversidade de atividades didáticas sugeridas foi o diferencial oferecido por este material” “... além de se abordar a HC como recurso didático, temos a possibilidade de associá-la a outras estratégias que a fortalecem (como o uso de debates e de simuladores)”
	Favorecimento à interdisciplinaridade	“... se observa o uso da interdisciplinaridade com literatura e peça teatral” “... podendo, inclusive, promover uma abordagem interdisciplinar”

		<p>“... deixa clara a possibilidade de interação com outras disciplinas...”</p> <p>“... as atividades didáticas permitem não somente estimular a criticidade epistemológica do aluno, mas também que o docente dialogue com diversas disciplinas”</p> <p>“Há uma distribuição muito interessante de práticas que além de possibilitar uma abordagem menos "matematizada" da Física, se mostram potencialmente fortes para também promover um maior diálogo com outras disciplinas do currículo”</p> <p>“Algumas atividades acho desnecessárias, uma vez que fazem parte do componente curricular da disciplina de história, sendo assim, há a possibilidade de se abordar o mesmo assunto duas vezes”</p> <p>“... ainda tem a oportunidade de criar integração com outras disciplinas”</p>
	Abordagem diferenciada de um tema da FMC	<p>“... [permite] uma abordagem diferenciada da Física nuclear”</p> <p>“... além de contextualizar temporalmente os avanços científicos alicerçados nos períodos de guerra, possibilita a discussão de como que o investimento em ciência ocorreu também em função de interesses políticos”</p> <p>“Tais atividades podem ser vistas em seu conjunto como uma nova "instrumentação" para o ensino de FMC”</p> <p>“... mostra que muito do desenvolvimento da Física nuclear da época encontrava-se permeado por uma série de interesses políticos e sociais, que não priorizavam necessariamente a ciência”</p>
	Aprofundamento dos temas abordados por parte do docente	<p>“Mesmo que ele não possua o conhecimento adequado para aplicar as atividades, o material como um todo permite ao professor se aprofundar no tema”</p> <p>“... permite ao aluno, bem como ao professor, colocar temporalmente e espacialmente as descobertas científicas ocorridas no período considerado”</p> <p>“...pode muito bem resultar em uma boa absorção do conteúdo por parte do discente (compreensão e interesse, uma vez que o conteúdo está envolvido nitidamente com outros contextos, o que geralmente o aluno não tem ideia) e do docente (material detalhado e atividades flexíveis que podem ser trabalhadas pelo professor sem nenhuma dificuldade - seja tempo ou conteúdo escolhido pelo professor - material facilmente maleável)”</p>
Aplicabilidade	Fácil e direta	<p>“Independentemente do grau de domínio do conteúdo pelo docente, por conter informações claras e concisas, conseguirá utilizá-las sem problema algum”</p> <p>“O material é totalmente detalhado de forma a sugerir caminhos que o docente pode tomar com as atividades”</p> <p>“A forma com que as atividades estão contextualizadas permitem com que o professor possa trabalhar facilmente diversos</p>

		conteúdos que ele já tenha intenção de abordar”
	<p>Liberdade de escolha do conteúdo, tema, forma e momento didático</p>	<p>“... a atividade didática oferece múltiplas possibilidades de exposição dos conteúdos”</p> <p>“A possibilidade de escolha das temáticas das aulas permite ao professor sua utilização na forma que julgar mais adequada para si ou para os alunos”</p> <p>“A proposta de atividade didática permite ao professor uma série de possibilidades que podem ser adequadas à necessidade do plano de aula”</p> <p>“...por não requerer uma linearidade nas atividades, dá-se ao professor a liberdade de escolher quais atividades ele julga adequadas para o desenvolvimento da Física com seus estudantes, levando em conta recursos e características próprias da turma”</p> <p>“O material ainda é apresentado de forma que não necessite seguir uma sequência previamente definida, ou seja, o professor tem liberdade de encaixar (ou não) as atividades conforme deseja, escolhendo aquelas que mais se adaptam ao tema que deseja abordar. As atividades são flexíveis para que ele trabalhe de forma integral ou parcial”</p>
	<p>Oferece ganhos para o trabalho dos conteúdos específicos da Física</p>	<p>“... a atividade didática oferece múltiplas possibilidades de exposição dos conteúdos. Por isso, haveria um ganho na qualidade da apresentação dos conteúdos”</p> <p>“Mesmo fazendo uma abordagem diferenciada, a proposta não abre mão da abordagem dos conceitos físicos, das simbologias e linguagens próprias desta ciência”</p> <p>“... podem promover mudanças significativas na qualidade de ensino de Física na educação básica no nosso país”</p> <p>“... uma abordagem de Física que transcende cálculos, fórmulas e dimensões das grandezas”</p> <p>“... na maioria das aulas de Física os alunos são bombardeados por conteúdos teóricos que não despertam o interesse pelo aprendizado da matéria em questão. Sob esse viés, enfatizo que as diversas formas de expor o conteúdo da HC (com músicas, debates etc.) levam o aluno a refletir sobre as diversas formas que o aprendizado pode ocorrer e de um modo bem mais interativo e menos entediante”</p> <p>“A compreensão da não linearidade histórica e a não neutralidade da ciência são apenas alguns dos exemplos que podem ser explorados. Tais dimensões são muito dificilmente trabalhadas em aulas tradicionais de Física na escola básica”</p>

Quadro 18: Categorização das respostas dadas pelos professores para as principais características das atividades didáticas sugeridas.

Uma vez constatado haver coerência entre a qualidade da linguagem empregada na elaboração desse e dos outros materiais produzidos e já mencionados, a diversidade de aspectos positivos relacionados à estruturação e à aplicabilidade das

atividades elaboradas permitiu-me reforçar determinadas hipóteses advindas da minha experiência docente.

O destaque positivo para a diversidade dos recursos mobilizados e a maneira como foram estruturados e articulados reforçam minha defesa pela necessidade de se trabalhar a HC nas aulas de Física da escola básica associada a outras estratégias didáticas, conforme já destaquei no capítulo 2, após constatar que o uso isolado da HC com esse propósito parecia, por si, não se configurar em consenso junto aos professores em formação. Outro ponto destacado pelos professores refere-se às características das atividades didáticas que contribuem para viabilizar práticas interdisciplinares nas aulas de Física. Quase todos os respondentes perceberam e declararam a possibilidade de se promover um diálogo entre a Física e outras disciplinas da grade curricular do ensino médio a partir do desdobramento das práticas e ações associadas às atividades didáticas sugeridas. Este parece ser um ponto fundamental na concepção dos professores a respeito da aproximação da HC no ensino: a abordagem histórica se apresenta, para esses docentes, como um meio privilegiado para concretizar os ideais de interdisciplinaridade recomendados tanto pelas diretrizes curriculares da atualidade quanto por um contingente significativo de especialistas na área educacional.

Houve também uma quantidade significativa de críticas tecidas visando destacar a maneira diferenciada e profícua pela qual um importante conteúdo da Física Moderna e Contemporânea (a Física Nuclear) foi tratado no decorrer das atividades. Desse modo, o trabalho com a HC parece ter feito mais sentido, sem a necessidade de se recorrer de antemão à apresentação dos tradicionais aspectos relacionados à chamada Natureza da Ciência (NdC). Ou seja, pode-se dar sentido e significado para a utilização da HC no ensino de Física sem que para isso seja necessária a formalização prévia de uma lista de tópicos apresentando características próprias da ciência.

Ainda sobre a estruturação das atividades, uma importante característica destacada pelos respondentes relaciona-se com a perspectiva de o docente aprofundar, junto a seus alunos, discussões envolvendo os temas abarcados, além de pessoalmente lograr aprender mais sobre a temática e os assuntos abordados utilizando o material que lhe foi disponibilizado, principalmente as atividades didáticas. Percebe-se, assim, que as concepções dos docentes em relação à HC incluem uma dualidade no que se refere ao aprofundamento dos temas, pois, mesmo ao se sentirem instrumentalizados para o trabalho com essa perspectiva, estão cientes da necessidade de enriquecer sua formação acerca de temas específicos, para que seja

possível levar para a sala de aula discussões que não se restrinjam à superficialidade do senso comum – o que pouco contribuiria para a formação dos alunos.

Quanto à possibilidade desse material ser concretamente aplicado pelos docentes, as respostas destacaram o nível de detalhamento e contextualização promovido – caracterizando, assim, aspectos fundamentais para viabilizar a inserção da HC em sala de aula, em conformidade com os propósitos e objetivos desses sujeitos, bem como com seus próprios conhecimentos em relação ao episódio.

Como uma das consequências desse fato, pude notar que muitos e diversificados foram os comentários destacando os ganhos oferecidos pelas atividades para o desenvolvimento dos conteúdos específicos da Física. Constata-se, nas respostas, a presença de argumentos atribuindo às atividades didáticas sugeridas a capacidade de viabilizar o trabalho com os tradicionais conteúdos da Física de uma maneira mais dinâmica e envolvente para os alunos, sem que para isso se abra mão do rigor teórico-conceitual que é inerente a essa disciplina científica. Assim, as concepções dos professores sobre a HC no ensino não circunscrevem a abordagem histórica ao desenvolvimento de aspectos da NdC, pois a preocupação com os conteúdos está bastante presente.

Ainda sobre a questão da aplicabilidade das atividades didáticas, o último e mais significativo resultado que pude constatar recai sobre a ênfase dada pelos respondentes à liberdade de escolha (por parte do docente) de conteúdo, tema, forma e momento didático proporcionada por esse material. Foram diversos os destaques feitos pelos respondentes nesse sentido, enfatizando que os professores parecem ver com bons olhos a proposição de recursos didáticos bem estruturados e articulados, mas sem que para isso tenham que trazer consigo amarras ou limitações às formas de atuação daqueles que se interessarem por sua aplicação. Portanto, segundo os respondentes, uma das mais significativas qualidades das atividades didáticas sugeridas seria a autonomia que tais recursos proporcionariam ao docente no momento em que se decidisse por utilizá-los.

O contato com essas respostas me conduz naturalmente à concordância com a epígrafe deste capítulo, a qual reflete com particular felicidade o sentimento daqueles que há anos procuram levar a Física para as salas de aula do nosso país, sempre em busca de “novidades” destinadas a tornar esse exercício mais aprazível e, principalmente, mais significativo – e, portanto, menos protocolar.

Concluindo a categorização e a análise das respostas, refiro-me agora à 7ª. questão do QF. Conforme declarado já no título deste trabalho, esta pesquisa se propôs, de maneira particular, a abordar o desenvolvimento sistemático de temas

relacionados à história da ciência nacional nas aulas de Física do ensino médio, tendo, para esse propósito, a MHC como referencial teórico. Portanto, com o objetivo de identificar códigos destinados à categorização das concepções dos respondentes, retomei as duas questões norteadoras desta investigação (apresentadas na “introdução”) às quais atribuí caráter prescritivo, a saber:

- ✓ É pertinente e profícua a inserção de discussões acerca do histórico da ciência nacional nas disciplinas de uma licenciatura em Física?
- ✓ Como o trabalho com episódios da ciência nacional poderia viabilizar a familiarização dos licenciandos com os principais critérios da moderna historiografia da ciência, a serem considerados na formulação de suas aulas?

Com base nesses questionamentos, os dados tabulados no quadro 19 permitiram-me constituir a categorização mostrada no quadro a seguir.

Categorias	Códigos de definição de situação	Dados textuais
Valor didático nas aulas de Física	Estímulo à curiosidade do aluno quanto ao histórico e ao estágio atual da ciência e da tecnologia, inclusive brasileiras	<p>“Além da maioria dos conteúdos não estarem relacionados com a época em que os alunos vivem, também não trazem referências do local em que vivem. [...] O episódio histórico elaborado disponibiliza reais recursos para que qualquer professor de Física dedicado possa contornar esse problema, pois se trata de um tema essencialmente atual e nacional.</p> <p>“O projeto nuclear brasileiro está, até hoje, na ordem do dia. O aluno, de uma forma ou de outra, já foi exposto a essa discussão. Além disso, por ser um episódio nacional, é mais próximo ao universo do estudante, dando mais realidade e tornando o episódio mais palpável”</p> <p>“... a aplicação do material oferece um diferencial nesse sentido, por estar mergulhando em um contexto em que geralmente o aluno não tem ideia, o que pode muito bem prender sua atenção e, principalmente, educá-lo cientificamente”</p> <p>“O diferencial em relação aos possíveis resultados está no interesse que pode ser despertado no aluno em pesquisar mais sobre acontecimentos históricos acerca do país em que o mesmo vive”</p>
	Promoção da interdisciplinaridade	<p>“O debate através do fórum é um grande exemplo, visto que atualmente as questões de modelos sustentáveis sempre aparecem no noticiário, e o modelo de gestão da água também foi muito debatido nas últimas eleições. O que tais questões guardam de relação com o episódio histórico proposto passa pela discussão de modelos de gestão de energia e bens naturais a médio prazo”</p> <p>“Será que um episódio histórico como o proposto pode formar cidadãos mais conscientes ao ponto de não terem que responder, por exemplo, por que o Brasil investiu tanto em recursos</p>

		<p>controversos, como a produção de energia por meio nuclear, ao invés de cuidar do bem natural que são suas bacias hidrográficas mal exploradas ao longo da história?”</p> <p>“... as atividades e o episódio destacam informações passadas e que influenciaram de alguma forma na nossa economia e atualidade”</p>
Importância na formação do professor	Apresentação de uma HC comprometida com a diversidade e a complexidade da atividade científica	<p>“O episódio pode também ajudar a entender como a política influencia a ciência e como influenciou em razão do regime ditatorial militar que perdurou por mais de duas décadas”</p> <p>“Geralmente quando trata-se de ciência o aluno tem como base um preconceito de que qualquer estudo, descoberta, pesquisas e desenvolvimento parecem distantes e associados às grandes figuras da história, sendo estas ícones internacionais.”</p> <p>“Ao abranger um conteúdo que se apoia em história da ciência nacional, o discente pode perceber como a política de um país está fortemente apoiada em ciência e tecnologia, mesmo que seja o Brasil”</p>
	Contextualização da produção científica e tecnológica brasileiras	<p>“O desconhecimento da produção científica nacional e a maneira como o episódio é apresentado podem surpreender positivamente quanto ao resultado esperado”</p> <p>“Por evidenciar o fato pouco abordado de que o Brasil se encontra inserido na produção e no desenvolvimento científico mundial”</p> <p>“Quando se propõe que se abram os olhos para formação dos órgãos relacionados a pesquisa, como é o caso do CNPq e CBPF, é esperado que o estudante volte seus olhos para a ciência nacional, que foi buscar formação no exterior (em grande parte com especialistas que viveram o período da guerra) e montaram muitos dos centros de pesquisa das universidades brasileiras que são até hoje referência nacional”</p>
	Proposição de discussões voltadas para o trabalho com a Identidade Cultural	<p>“Não é comum associarmos a segunda guerra mundial com o Brasil, tampouco saber qual foi nosso papel ou a repercussão que esse episódio nos trouxe”</p> <p>“[Por] explicitar o caráter científico na identidade cultural brasileira”</p> <p>“... acredito que seja de bom tom que nossa produção cultural em sala de aula volte-se a temas nacionais, ao invés de estudar questões que tocam aos países centrais, tão distantes de nossa realidade”</p>

Quadro 19: Categorização das respostas dadas pelos professores sobre o fato de as atividades didáticas sugeridas trabalharem com um episódio específico da **história da ciência e tecnologia nacionais**.

Ao retomar a primeira das questões de pesquisa destacadas, pude constatar algumas respostas indicando um consenso a respeito do valor didático de uma HC comprometida com desenvolvimento de episódios abarcando fatos relacionados à ciência nacional. Nesse sentido, ênfase significativa foi dada ao estímulo à curiosidade

do aluno no tocante a conhecer mais e melhor o histórico e o estágio atual da ciência e da tecnologia, com privilégio para aquelas diretamente associadas ao Brasil.

Sobre a possibilidade da escolha de um tema relacionado à ciência nacional tornar mais concreta a aproximação entre a HC e o ensino de Física no ensino médio, os respondentes reafirmaram sua concepção de que esse tipo de abordagem representa uma tendência importante para dar suporte à proposição de atividades de caráter interdisciplinar.

Seguindo adiante na análise das informações organizadas no quadro 14, é possível notar que os respondentes atribuem significativa importância ao trabalho associado ao uso de episódios da história da ciência nacional no processo de formação do professor de Física. Ao indicarem que essa ação oferece ganhos pontuais para uma prática docente amparada pelo uso da HC (apresentação de uma HC comprometida com a diversidade e a complexidade da atividade científica, possibilidade de contextualização da produção científica e tecnológica brasileiras, bem como possibilidade do preparo para a proposição de discussões junto aos alunos do ensino médio voltadas para o trabalho com a identidade cultural), os respondentes oferecem indicativos para subsidiar a discussão da segunda questão norteadora desta pesquisa, mencionada acima.

Encerro esta análise lançando luz sobre a importância das informações contidas nos quadros destinados a organizar as opiniões dos professores de Física recém-formados acerca das características e, em especial, das possibilidades de se explorar os materiais produzidos, que podem servir de referência para futuras apropriações dos docentes de Física interessados em aproximar a HC de suas situações didáticas mais usuais. Outra possibilidade que se projeta é tais informações sejam levadas em consideração, por professores formadores em cursos de licenciatura em Física, no momento de elaboração de ementas e planos de aula de disciplinas comprometidas com a instrumentalização dos futuros professores no que se refere à possibilidade de tornar a HC uma efetiva e profícua estratégia didático-pegadógica em suas aulas.

Considerações Finais

Quem poderá prever se Eros terá sucesso na sua eterna luta contra Tanatos? Se estamos prontos a renunciar a uma boa parte dos nossos desejos infantis, podemos suportar que algumas de nossas expectativas se revelem meras ilusões? O intelecto humano é sem forças em comparação com a vida dos instintos. A voz do intelecto é baixa, mas não cala enquanto não encontra ouvintes.

Naufraágios sem Espectador (Paolo Rossi)

O profissional que opta pela docência de uma disciplina pertencente às denominadas “ciências naturais” defronta-se com o desafio de oferecer aos seus alunos um curso comprometido com os ideais de uma educação que supere a mera transmissão de informações memorizáveis e, portanto, descontextualizadas e efêmeras.

Ao eleger a história da ciência como uma concreta alternativa para a promoção de um ensino de Física empenhado em formar alunos críticos e participativos, o professor é colocado em contato com materiais e recursos com potencial para contemplar interesses diversos e distintos entre si. Diante dessa variedade, além de ter capacidade para fazer a seleção de temas, conteúdos e estratégias mais adequados aos seus interesses e aos de seus alunos, o professor deveria conhecer satisfatoriamente – e tentar conciliar – as principais características, determinações e prescrições das duas grandes áreas do conhecimento envolvidas nesse trabalho: a história da ciência e o ensino de Física.

Nesse sentido, torna-se imperiosa a busca por formas de se trabalhar os conhecimentos próprios da história da ciência que sejam considerados suficientes para que os professores realizem a escolha das melhores ações a serem implementadas, e dos mais profícuos e assertivos caminhos a serem trilhados. Para isso, deve-se considerar, ainda, que um professor de Física não tem a obrigação de acumular em seu currículo um diploma de historiador da ciência, profissional que possui objetos de investigação e interesses que são distintos daqueles do educador em ciências. O trecho a seguir evidencia que esse raciocínio encontra respaldo entre alguns dos principais pesquisadores dessa interface:

Seria um exagero esperar que o professor de Física se transformasse em historiador e filósofo da Física. Entretanto, acreditamos que é possível e desejável desenvolver ações que possam apoiá-lo em sua prática docente. É possível promover tais reflexões na formação inicial e continuada do professor, não com vistas a especializá-lo nas

diversas áreas, mas que poderiam contribuir para a identificação de distintas narrativas da história da ciência, buscando prepará-lo para interagir de modo crítico com elas (FORATO, 2008, p. 34).

Todavia, a investigação realizada no contexto deste trabalho vem corroborar a suspeita de que o processo de formação dos professores de Física ainda é carente da presença de disciplinas destinadas à proposição e ao desenvolvimento de ações promotoras de uma suficiente e efetiva instrumentalização desses profissionais, a qual deveria necessariamente abarcar os usos da história da ciência em situações didáticas.

Como consequência, a história da ciência parece ainda não ocupar um lugar de destaque junto aos professores em formação como mais uma possível estratégia ou recurso didático-pedagógico disponível para estruturar suas futuras aulas. A princípio, uma possível e interessante consequência desse fato é o espaço aberto para que sejam propostas intervenções capazes de fazer uso da história da ciência em associação com outros recursos e possibilidades didáticas, como é o caso, por exemplo, da experimentação, da resolução de problemas e da aproximação CTS.

Ainda assim, os resultados desta investigação indicam que uma composição de forças nos moldes sugeridos somente faria sentido caso as instâncias responsáveis pela formação dos professores de Física efetuassem a aludida instrumentalização desses sujeitos, de modo a conscientizá-los sobre a necessidade de eles mesmos selecionarem e, em última instância, produzirem os materiais didáticos a serem utilizados em sala de aula.

Outro ponto muito importante a ser trabalhado – fundamental para nortear o processo de produção e seleção desses materiais – é a escolha da vertente historiográfica mais adequada para dar suporte às discussões a serem promovidas no contexto didático em que cada docente se encontra inserido. Nesse sentido, reitero minha defesa pelo uso da Moderna Historiografia da Ciência, em sintonia com os atuais propósitos de educação em ciências defendidos pelos principais documentos oficiais que regem o ensino formal no país, pelos pesquisadores em ensino de ciências e, adicionalmente, em ressonância com as linhas de investigação contemporâneas no contexto dos estudos historiográficos da ciência.

Para além da apresentação e do encadeamento de nomes, momentos e descobertas relacionadas à ciência, ainda comuns em alguns cursos e programas, o licenciando em Física parece carecer, em sua formação, de discussões destinadas a apresentar-lhe *como* seria possível elaborar uma narrativa histórica que estivesse em conformidade (ou não) com seus ideais de ensino envolvendo essa ciência. Com esse

propósito, os exemplos extraídos de alguns artigos acadêmicos (comentados no capítulo 1) procuraram preencher essa lacuna, ainda que parcialmente.

Porém, considerando as peculiaridades – e a complexidade – do trabalho envolvendo a apropriação dos principais critérios caracterizadores de uma vertente historiográfica, algumas ações precisariam ser propostas com o intuito de se valorizar o interesse e o mérito dos professores que buscam na história da ciência uma alternativa às abordagens mais tradicionais utilizadas nas aulas de Física do ensino médio. Como parte das possíveis ações destinadas a oferecer uma resposta para esses problemas, a utilização de episódios relacionados à história da ciência e da tecnologia brasileiras apresentam-se como uma alternativa concreta.

Os materiais de cunho didático elaborados no contexto deste trabalho tinham como ponto de partida a apresentação de um histórico envolvendo as tentativas do Brasil para dominar a tecnologia nuclear destinada à produção de energia elétrica. Essa escolha se deu em função do destaque dado pelos licenciandos em Física que se prontificaram a responder a um questionário que elaborei, evidenciando terem sido praticamente nulos ou inócuos os momentos de apresentação, em seus cursos de graduação, de episódios ou personalidades ligados à ciência nacional.

A devolutiva de outro grupo, constituído por oito professores em Física formados recentemente, foi rica em detalhes corroborando o valor didático dos materiais elaborados, com especial importância atribuída ao fato dos mesmos terem sido constituídos com base em eventos relacionados à história recente do Brasil, lançando uma luz sobre boa parte dos critérios norteadores da vertente historiográfica previamente apresentada.

Os questionários utilizados nas diferentes etapas desta investigação se pautaram pela busca das opiniões de professores de Física em formação e, também, recém-formados, gerando indicativos relevantes para caracterizar aspectos da abordagem histórica no ensino. Um eminente pesquisador dos temas relacionados ao trabalho e aos saberes docentes há quase duas décadas já destacava “a necessidade de repensar, agora, a formação para o magistério, levando em conta os saberes dos professores e as realidades específicas de seu trabalho cotidiano” (TARDIF, 2013, p. 22-23).

Por mais bem intencionadas e estruturadas que se apresentem as pesquisas destinadas a sistematizar e indicar o que deveria, ou não, chegar às salas de aula pelas mãos dos professores, a dinâmica do chamado “chão de fábrica” é por demais complexa, fadando os produtos sociais (acadêmicos, publicitários, midiáticos etc.) deslocados de sua realidade a uma vida muito curta em sua circunscrição. Portanto,

avaliou como a maior contribuição oferecida por este trabalho as ações destinadas a ouvir e a considerar aquilo que os docentes tinham a dizer acerca da abordagem histórica no ensino de Física e, em particular, a respeito do estudo de caso aqui elaborado, sempre tendo como principais referências os parâmetros historiográficos e de educação em ciência destacados. Nesse contexto, concordo uma vez mais com Tardif, ao afirmar que:

Até agora, a formação para o magistério esteve dominada sobretudo pelos conhecimentos disciplinares, conhecimentos esses produzidos geralmente numa redoma de vidro, sem nenhuma conexão com a ação profissional, devendo, em seguida, serem aplicados na prática por meio de estágios ou de outras atividades do gênero. Essa visão disciplinar e aplicacionista da formação profissional não tem mais sentido hoje em dia, não somente no campo do ensino, mas também nos outros setores profissionais” (TARDIF, 2013, p. 23).

Diante dos resultados deste trabalho, apresenta-se como possibilidade para o desenvolvimento de investigações futuras a aplicação e análise sistemática das atividades didáticas aqui propostas. Considero este como o próximo desafio que devo encarar ao retornar a minhas atividades docentes, seja na instância de formação de professores, seja no contexto das aulas de nível médio que ainda tenho o expediente de seguir ministrando. Essa perspectiva parece indicar um profícuo caminho a ser explorado, dando origem a publicações destinadas a divulgar essa realização ou, por outro lado, indicar os exageros, os equívocos e as inadequações do material passíveis de serem ajustados ou, no limite, evidenciar a necessidade de serem tomados outros rumos.

Ainda enxergo nessa falta de garantias um dos aspectos mais fascinantes e motivadores do trabalho com a pesquisa em ensino e a prática docente, principalmente em ciências. Afinal, parafraseando a epígrafe deste derradeiro capítulo, os produtos da inteligência humana – para o bem ou para o mal – não necessariamente geram os resultados para os quais foram idealizados em sua origem; contudo, são o resultado de sucessivas investidas e renúncias de um espírito naturalmente inconformado com os resultados das ações de sua extensão dita “sensível”.

Referências

- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. Atanores, cimitarras e minaretes: cultura árabe como tecido do saber sob o céu “medieval”. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 5, p. 33-40, 1991.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **O que é história da ciência?** São Paulo: Brasiliense, 1994.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; FERRAZ M. H. M.; BELTRAN M. H. R. A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN M. H. R. (orgs.). **Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: EDUC/Livraria Editora da Física/ Fapesp, p. 49-73, 2004.
- ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; FERRAZ M. H. M.; BELTRAN M. H. R. **Centenário Simão Mathias: documentos, métodos e identidade da História da Ciência: seleção de trabalhos**. ALFONSO-GOLDFARB, GOLDFARB, J. L., FERRAZ, M. H. M, WAISSE, S. (orgs.). São Paulo: PUC-SP, 2009.
- ALLCHIN, D. Flogiston after oxygen. **Ambix**, (39): p. 110-116, 1992.
- ALLCHIN, D. James Hutton and flogiston. **Annals of Science**, (51): 615-635, 1994.
- ALLCHIN, D. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, p. 179-195, 2004.
- ANDRADE, E. V. **Representação vetorial e grandezas Físicas nos livros de Física pelo PNLD para 2012: a necessária convergência para além da Matemática**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, 2012.
- ANDRADE, N. L. Concepções de progresso científico em Conant e Kuhn. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 1, p. 67-80, 2000.
- BALDINATO, J. O.; PORTO, P. A. Variações da história da ciência no ensino de ciências. In: Mortimer, E. F. (org.), **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte: ABRAPEC, 2008.
- BAPTISTA, J. P. Os princípios fundamentais ao longo da História da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 543-553, 2006.
- BAPTISTA, J. P.; FERRACIOLI, L. A construção do princípio de inércia e o conceito de inércia material, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 2, p. 272-280, 2000.

- BARBATTI, M. A filosofia natural à época de Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 33-41, 1996.
- BARROS-PEREIRA, H. A. Astronomia islâmica entre Ptolomeu e Copérnico: tradição Maraghah. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 153-161, 1999.
- BASSALO, J. M. F. Nascimento da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 33-41, 1996.
- BASSALO, J. M. F. O prêmio Nobel de Física, 2013. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 2, p. 306-332, 2014.
- BORGES, J. L. **El Hacedor**. Madri: Alianza Editorial, 1960.
- BRASIL. **Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio: Parte III – ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF: MEC/SEF, 1999.
- BRASIL. **Diretrizes Nacionais Curriculares para o Curso de Física**. Brasília: Diário Oficial da União, 2001.
- BRASIL. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC/SEB, 2002.
- BRASIL. **Orientações curriculares para o ensino médio (Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias)**. Brasília: MEC/SEB, 2006. V. 2, 135 p.
- BRASIL. **Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: Diário Oficial da União, 2012.
- BRASIL. **Guia de livros didáticos: PNLD 2012 – Física**. Brasília: MEC/SEB, 2011.
- BRASIL. **Guia de livros didáticos: PNLD 2015 – Física**. Brasília: MEC/SEB, 2014.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC/SEB, 2015.
- CAMPOS, M. T. R. A. Materiais didáticos e formação do professor. In: Boletim 2001, Ensino Médio, programa 3. Disponível em: <www.tvebrasil.com.br/salto>. Acesso: 18 jun. 2012.
- CARVALHO, A. M. P.; VANNUCCHI, A. I. O currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, v.1, n.1, p. 3-19, 1996.

- CARVALHO, C. **A história da indução eletromagnética contada em livros didáticos de Física**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2007.
- CERTEAU, M. **A escrita da história**. Trad. M. L. Menezes. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1982.
- CHALMERS, A. F. **O que é ciência, afinal?**. Trad. Raul Filker. São Paulo, Brasiliense, 1993.
- CHASSOT, A. **A ciência através dos tempos**. São Paulo; Moderna, 1994.
- CHRISTIE, J. The development of the historiography of science. In: OLBY, R. C. *et al.* (Org.). **Companion to the history of modern science**. Londres; Routledge, 1990.
- CINDRA, J. L.; TEIXEIRA, O. P. B. A evolução das ideias relacionadas aos fenômenos térmicos e elétricos: algumas similaridades. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 279-299, 2006.
- COHEN, L.; MANIO, L.; MORRISON, K. **Research methods in education**. 5th ed. London: Taylor & Francis e-Library, 2005.
- CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Entre os transurânicos e a fissão nuclear: um exemplo do papel da interdisciplinaridade em uma descoberta científica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 2, p. 536-563, 2014.
- D'AMDBROSIO, U. Tendências historiográficas na história da ciência. . In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN M. H. R. (orgs.). **Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: EDUC/Livraria Editora da Física/ Fapesp, p. 165-200, 2004.
- DEBUS, A. G. A ciência e as humanidades: a função renovadora da indagação histórica. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 5, p. 3-13, 1991.
- DIAS, P. M. C. $F = ma$?! O nascimento da lei dinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 205-234, 2006.
- DJERASSI, C.; HOFFMANN, R. **Oxigênio**. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2004.
- EINSENSTAEDT, J.; FABRIS, J. C. Amoroso Costa e o primeiro livro brasileiro sobre Relatividade Geral. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 185-192, 2004.

FELDENS, B.; DIAS, P. M. C.; SANTOS, W. M. S. E assim se fez o quantum... **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 2602, 2010.

FERNANDES, M. A. M.; PORTO, P. A. Investigando a presença da história da ciência em livros didáticos de Química Geral para o ensino superior. **Química Nova**, n. 35, p. 420 – 429, 2012.

FLEMING, H. Enrico Fermi, gênio e simplicidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 18, n. 4, p. 274-280, 1996.

FORATO, T. C. M. A filosofia mística e a doutrina newtoniana: uma discussão historiográfica. **ALEXANDRIA Revista de Educação em Ciências e Tecnologia**, v. 1, n. 3, p. 29-53, 2008.

FORATO, T. C. M. **A Natureza da Ciência como Saber Escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. 2 vols.

FORATO, T. C. M. PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n1, p. 27-59, abril de 2011.

GARDELLI, D. A origem da inércia. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 43-53, 1999.

GARDELLI, D. A indução gravitacional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 584-598, 2010.

GARRITZ-RUIZ, A.; CHAMIZO, J. A.; **Química**. Pearson: São Paulo, 2000. 3 vols.

GIL-PÉREZ, D. Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 197-212, 1993.

GIL-PÉREZ, 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, p. 125-153, 2001.

GUERRA, A.; REIS, J. C; BRAGA, M. Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 2, p. 224-248, 2004.

- GURGEL, I.; PIETROCOLA, M. Uma discussão epistemológica sobre a imaginação científica: a construção do conhecimento através da visão de Albert Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1602, 2011.
- GURGEL, I.; WATANABE, G. A identidade cultural com um problema ao ensino de Física. In: **XII Encontro de Pesquisa de Ensino de Física**, Águas de Lindóia, 2010.
- HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. **Science & Education**, n. 20, p. 293–316, 2011.
- KRAGH, H. **An introduction to the historiography of science**. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- KRAPAS, S.; QUEIRÓZ, G. R. P. C.; UZÊDA, D. O tratado sobre a luz de Huygens: comentários. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 123-151, 2011.
- KRAPAS-TEIXEIRA, S.; QUEIRÓZ, G. P. O movimento de precessão na história e o estudante. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p. 171-180, 1996.
- KURATOMOTO, R. Y. R.; APPOLONI, C. R. Uma breve história da política nuclear brasileira. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 379-392, 2002.
- LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo, E.P.U., 1986.
- MACÊDO, M. A. R. A equação de Torricelli e o estudo do Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 4, p. 4307, 2010.
- MARTINS, A. F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.
- MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.7, n. especial, p. 27-45, 1990.
- MARTINS, R. A. Como distorcer a Física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica 2 – Física Moderna. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.15, n. 3, p. 265-300, 1998a.
- MARTINS, R. A. A descoberta dos raios X: o primeiro comunicado de Röntgen. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 20, n. 4, p. 373-391, 1998b.

- MARTINS, R. A. *Ciência versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência*. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. (orgs.) **Escrevendo a história da ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: Livraria da Física/EDUC/FAPESP, p. 115-145, 2004.
- MARTINS, R. A. A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (Org). **Estudos de História e Filosofia das Ciências**: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.
- MARTINS, R. A. O éter e a óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da Terra, antes dos experimentos de Michaelson e Morley. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.29, n. 1, p. 52-80, 2012.
- MARTINS, R. A. **O universo**: teorias sobre sua origem e evolução. São Paulo: Livraria da Física, 2012.
- MATTOS, C. R; GARCIA, M. M. T.; FERRARA, N. F. Un estudio sobre la evaluacion de libros didáticos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v.2, nº 2, p. 36-50, 2002.
- MATTHEWS, M. R. **Science teaching: the role of history and philosophy of science**. Nova York: Routledge, 1994.
- MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis, v.12, n. 3, p.164-214, 1995.
- MCGUIRE, J. E.; RATTANSI, P. M. Newton and the “Pipes of Pan”. **Notes and records of Royal Society**, v.21, p. 108-146, 1966.
- MEDEIROS, A.; BEZERRA FILHO, S. A natureza da ciência e a instrumentação para o ensino da Física. **Ciência & Educação**, v. 6, n. 2, p. 107-117, 2000.
- MEDEIROS, A. O desenvolvimento histórico da escala Fahrenheit e o imaginário de professores e estudantes de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 155-173, 2007.
- MEDEIROS, A; MONTEIRO, M. A. A invisibilidade dos pressupostos e das limitações da teoria copernicana nos livros didáticos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 28-50, 2002.

- MENEZES, L. C. Uma Física para o novo Ensino Médio. **A Física na Escola**, v. 1, n.1, p. 6-8, 2000.
- METZ, D; KLASSEN, S; MCMILLAN, B; CLOUG, M; OLSON, J. Building a Foundation for the Use of Historical Narratives. **Science & Education**, V. 16, nº 3-4, p. 313–334, 2007.
- MORAES, J. U. P. O Livro Didático de Física e o Ensino de Física: suas relações e origens. **Scientia Plena**, v. 7, nº 9, 2011.
- MOREIRA, M. A. **Metodologia de pesquisa em ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.
- MOREIRA, M. A. **Física de partículas: uma abordagem conceitual & epistemológica**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.
- MOURA, B. A. **Formação crítico-transformadora de professores de Física: uma proposta a partir da História da Ciência**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.
- NORRIS, S., GUILBERT, M., SMITH, M., SHARAM, H. & PHILLIPS, L. A Theoretical Framework for Narrative Explanation in Science. **Science Education**, v. 89, nº 4, p. 535–554, 2005.
- OHANIAN, H. C. **Einstein mistakes: the human failings of a genius**. New York: Norton, 2008.
- OHARA, J. R. M. Passado histórico, presente historiográfico: considerações sobre “História e Estrutura” de Michel de Certeau. **História da historiografia**, n.12, p. 197-212, ago-2013.
- OLESKO, K. Historiography of science. In: HEILBRON, J. L. *et al.* (Org.). **The Oxford companion to the history of modern science**. New York; Oxford University Press, 2003.
- OLIVEIRA, R. A; SILVA, A. P. B. WilliamHerschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, p. 4603, 2014.
- OSTERMANN F.; CALVALCANTI, C. J. H. Um pôster para ensinar Física de partículas na escola. **Física na Escola**, n. 2, v. 1, p. 13–18, 2001.

- PEDUZZI, L. O. Q. Física aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica?. **Caderno Catarinense de Ensino de Ciências**, v. 13, n. 1, p. 48-63, 1996.
- PERENEIRO, J. C. Galileo e a defesa da cosmologia copernicana: a sua visão do universo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 173-198, 2009.
- PERENEIRO, J. C. Algumas considerações de Galileo a respeito da teoria da semelhança Física, da resistência dos materiais e das flexões. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, p. 288-312, 2010.
- PESSOA JÚNIOR, O. Modelo causal dos primórdios da ciência do magnetismo. **Scientiæ Studia**, v. 8, n. 2, p. 195-212, 2010.
- PIASSI, L. P.; SANTOS, E. I.; VIEIRA, R. M. B.; FERREIRA, N. C. O discurso ideológico sobre Aristóteles nos livros didáticos de Física. **Revista Brasileira de pesquisa em Educação em Ciências**, v.9, n.2, 2009.
- PONTES, M. C. **Missão Cumprida: a história da primeira Missão Espacial Brasileira**. (1ª. ed.) São Paulo: Chris McHilliard, 2011.
- PORTO, P. A. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: SANTOS, W. L. P.; Maldaner, O. A. (orgs.). **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Editora Unijuí, p. 159-180, 2010.
- PRADO, F. D. Experiências Curriculares com História e Filosofia da Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.6, n. especial, p.9-17, jun. 1989.
- PUMFREY, S. History of science in the National Science Curriculum: A critical review of resources and their aims. **British Journal of History of Science**. 24: 61-78, 1991.
- REZENDE, S. M. **Momentos da ciência e tecnologia no Brasil: uma caminhada de 40 anos pela C&T**. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2010.
- ROBILOTTA, M. R. O cinza, o branco e o preto: da relevância da história da ciência no ensino de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 5, p. 7-22, 1988.
- ROCHA, J. F. M. O conceito de “campo” em sala de aula – uma abordagem histórico-conceitual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, p. 1604, 2009.
- ROSSI, P. **A ciência e a filosofia dos modernos: aspectos da Revolução Científica**. Trad. Álvaro Lorencini. São Paulo: Ed. Unesp, 1992.

- RUSSELL, Colin. Whigs and professionals. **Nature**, v. 308, p. 777-778, 1984.
- SANTOS, E.; W. G. SCHMIEDECKE; T. C. M. FORATO. A História da Ciência Nacional e seu potencial didático para a Escola Básica. *In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Águas de Lindóia, 2013. **Atas...**
- SCATOLIN, V. O Brasil em busca do domínio da tecnologia aeroespacial. Dissertação de mestrado. São Paulo: PUC-SP, 2008.
- SCHMIEDECKE, W. G. **O Pronuclear (1976 – 1986) e a formação de recursos humanos para a área de energia nuclear no Brasil**. Dissertação de mestrado. São Paulo: PUC-SP, 2006.
- SCHMIEDECKE, W. G.; VALENTE, L. Energia Nuclear: uma ilustre desconhecida dos licenciandos em Física. *In: XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, Maresias, 2012.
- SCHMIEDECKE, W. G.; TADEU NETO, K. Licenciandos em Física e a História e Filosofia da Ciência enquanto abordagem didático-pedagógica. *In: XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Uberlândia, 2015.
- SILVA, A. P. B.; FORATO, T. C. M.; GOMES, J. L. A. M. C. Concepções sobre a natureza do calor em diferentes contextos históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 3, p. 492-537, 2013.
- SILVA, A. P. B.; MARTINS, R. A. Maupertuis e o princípio mecânico da ação mínima: uma análise crítica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 625-633, 2007.
- SILVA, C. C. A natureza dos cometas e o escorregão de Galileu. **Scientific American Brasil** (Edição Especial), v.6, p. 20-25, 2006.
- 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.
- SILVA, F. W. O. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 149-159, 2007.
- SILVA, I; FREIRE JR, O. A descoberta do Efeito Compton: de uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1601, 2014.

- SILVEIRA, A. F. **O teatro como instrumento de humanização e divulgação da ciência: um estudo do texto ao ato da obra Copenhague de Michael Frayn.** Tese de doutorado. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011.
- SILVEIRA, F. L. A filosofia da ciência de Karl Popper: o racionalismo crítico. **Caderno Catarinense de Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 197-218, 1996.
- SILVEIRA, F. L.; MEDEIROS, A. O paradoxo hidrostático de Galileu e a lei de Arquimedes. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 273-294, 2009.
- SOBEL, D. **Longitude**. New York: Walker, 1995.
- SOLAZ-PORTOLÈS, J. J.; MORENO-CABO, M. El espacio vacío y sus implicaciones em la historia de la ciencia. **Caderno Catarinense de Ensino de Ciências**, v. 14, n. 2, p. 194-208, 1997.
- TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional**. 15ª. ed. Petrópolis: Vozes, 2013.
- VIDEIRA, A. A. P. Historiografia e História da Ciência. **Escritos (Revista do Centro de Pesquisa da Casa de Rui Barbosa)**. Ano 1. n. 1. 2007. p. 111-158.
- VILAS BOAS, A.; SILVA, M. R.; PASSOS, M. M.; ARRUDA, S. M. História da Ciência e Natureza da Ciência: debates e consensos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, p. 287-322, 2013.
- VISONI, R. M.; CANALLE, J. B. G. Bartholomeu de Gusmão: o primeiro cientista brasileiro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 2, p. 3604, 2009a.
- VISONI, R. M.; CANALLE, J. B. G. Como Santos Dumont inventou o avião. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 3605, 2009b.
- ZANETIC, J. Física também é cultura. Tese de Doutorado. São Paulo: FEUSP, 1989.

Apêndices

Apêndice A – Questionário Diagnóstico

QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA

(Pesquisador: Winston G. Schmiedecke)

Esclarecimentos

- ☛ Este questionário integra uma pesquisa sobre o ensino de Física no Brasil e tem como público-alvo alunos de licenciatura.
- ☛ Para caracterizar com fidelidade as vertentes aqui apresentadas, peço-lhe que responda as questões com consciência e franqueza, e asseguro-lhe TOTAL sigilo e anonimato. Os dados pessoais solicitados ao final servirão somente para um eventual contato futuro visando ao aprofundamento das respostas aqui oferecidas junto aos sujeitos que assim se dispuserem.
- ☛ Havendo qualquer dúvida acerca do entendimento daquilo que é pedido pelas questões, solicite esclarecimentos ao responsável pela aplicação do questionário.
- ☛ Caso você tenha interesse em contatar o responsável por este material, envie um e-mail para winston.fisica@gmail.com.
- ☛ Muito obrigado!

Questões

1ª) Diversas são as estratégias e os recursos disponíveis para os professores de Física atualmente constituírem as ações didático-pedagógicas norteadoras das suas aulas. Com base na legenda oferecida, atribua, marcando com um “X”, conceitos de 1 a 4 para a **importância** que cada estratégia / recurso didático presente na tabela abaixo tem, em sua concepção, no processo de ensino-aprendizagem da Física trabalhada em nível de escola básica.

Estratégia / Recurso Didático	Conceito			
	1	2	3	4
Abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)				
Aproximação Arte e Ciência				
Contextualização (“Física do Cotidiano”)				
Experimentação				
Interdisciplinaridade				
História e Filosofia da Ciência (HFC)				
Resolução de Problemas				
Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC)				
Visitas a Museus de Ciência				

Legenda

Conceito	Importância
1	Pouquíssima
2	Pouca
3	Muita
4	Muitíssima

2ª) Considerando as estratégias e recursos didáticos já destacados, utilize a legenda oferecida nesta questão e atribua, marcando com um “X”, conceitos de 1 a 4 a cada uma delas de acordo com sua opinião acerca do **quanto você se sente preparado** para utilizar tal estratégia / recurso didático na formulação das ações didático-pedagógicas norteadoras das **suas** aulas, sejam elas atuais ou futuras.

Estratégia / Recurso Didático	Conceito			
	1	2	3	4
Abordagem CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade)				
Aproximação Arte e Ciência				
Contextualização (“Física do Cotidiano”)				
Experimentação				
Interdisciplinaridade				
História e Filosofia da Ciência (HFC)				
Resolução de Problemas				
Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC)				
Visitas a Museus de Ciência				

Legenda

Conceito	Preparo
1	Pouquíssimo
2	Pouco
3	Muito
4	Muitíssimo

Agora, considerando somente a **História e a Filosofia da Ciência (HFC)** como estratégia didático-pedagógica, a 3ª e a 4ª questões apresentadas a seguir devem ser respondidas em sintonia com aquilo por você assinalado para as questões anteriores.

3ª) Se na **1ª questão** você atribuiu conceitos 3 ou 4 para a importância da HFC como estratégia didático-pedagógica no ensino da Física, assinale com um “X” no quadro abaixo TODOS os fatores que considera como motivadores dessa aproximação.

Favorece a contextualização do conteúdo científico trabalhado	
Destaca as semelhanças entre as ideias históricas e as concepções (alternativas) dos alunos	
Estimula o desenvolvimento e a prática da leitura e o hábito da pesquisa junto aos alunos	
Facilita o aprendizado das leis, princípios e conceitos ao apresentar suas origens	
Apresenta a dimensão cultural da ciência, evidenciando sua importância junto à sociedade e a necessidade de se propor ações interdisciplinares	
Contribui para desmistificar a ciência e oferece uma visão crítica sobre seu funcionamento ao apresentar também os “erros” dos grandes pensadores	
Evidencia o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia ao longo da história	
Ajuda a despertar a curiosidade e o interesse dos alunos pela ciência, tornando sua aprendizagem mais prazerosa	
Contribui para o conhecimento do estágio atual da ciência praticada no país, favorecendo a prática de uma cidadania crítica, ativa e transformadora	

4ª) Se na 2ª questão você atribuiu conceitos 1 ou 2 para suas condições atuais de utilizar a HFC em suas aulas, assinale com um “X” no quadro abaixo TODOS os fatores ali presentes que você considera justificarem / reforçarem essa realidade.

Escassez de livros didáticos que abordam a HFC de forma sistemática	
Falta de uma cobrança efetiva dos conhecimentos próprios da HFC nas provas vestibulares, como é o caso do ENEM	
Desejável conhecimento de aspectos históricos, filosóficos e sociológicos relacionados ao conteúdo científico abordado	
Necessidade do uso de fontes primárias (textos de cientistas do passado) na preparação de materiais didáticos pelo docente	
Dificuldade para analisar os episódios históricos estudados no contexto de época a que pertencem, evitando promover abordagens anacrônicas	
Desconhecimento de materiais alternativos com vocação didática (vídeos, paradidáticos, artigos científicos etc.) abordando o uso da HFC no Ensino de Física	
Baixo interesse e/ou ausência de hábitos de leitura por parte dos alunos, gerando dificuldades no trabalho com os textos necessários ao desenvolvimento do conteúdo histórico	
Dificuldade em romper com uma cultura que insiste em “genializar” personalidades da HFC, superestimando a capacidade da ciência em resolver problemas dos mais diversos níveis	
Necessidade de tempo didático para o trabalho específico com a HFC, considerando que o tempo disponível não é suficiente sequer para trabalhar os respectivos conteúdos científicos	

Dados Pessoais

Nome: _____ Email: _____

Instituição / Universidade: _____

Em termos percentuais, quantas disciplinas (ou “créditos”) da licenciatura em Física você já concluiu? Nos quadrados apresentados a seguir, marque com um “X” aquele cujo intervalo contempla sua realidade atual:

☐ Menos de 25%
 ☐ Entre 25% e 50%
 ☐ Mais de 50% e menos de 75%
 ☐ Acima de 75%

Apêndice B – Questionário Investigativo

Dados Pessoais

Nome: _____ Email: _____
Instituição / Universidade: _____
Em termos percentuais, quantas disciplinas (ou “créditos”) da licenciatura em Física você já concluiu? Nos quadrados apresentados a seguir, marque com um “X” aquele cujo intervalo contempla sua realidade atual:
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> ☐ Menos de 25% ☐ Entre 25% e 50% ☐ Mais de 50% e menos de 75% ☐ Acima de 75% </div>

Esclarecimentos

- ☞ Em continuidade à pesquisa iniciada com o Questionário Diagnóstico (QD) por você respondido anteriormente, apresento-lhe este material. Trata-se de um novo questionário, que visa caracterizar e compreender a forma pela qual a História da Ciência (HC) foi trabalhada em seu curso de licenciatura.
- ☞ Note que, ao contrário do QD, este concentra atenções APENAS na HC, deixando de lado informações relacionadas especificamente à Filosofia da Ciência, razão pela qual a sigla HFC (História e Filosofia da Ciência) não é mais utilizada.
- ☞ Assim sendo, torno a agradecer-lhe por seguir colaborando com meu trabalho de pesquisa e peço-lhe que responda as cinco (5) questões apresentadas a seguir com a máxima honestidade e precisão, e reitero meu compromisso de manter em total anonimato e sigilo seus dados pessoais.
- ☞ Para evitar comparações e o estabelecimento prévio, por sua parte, de relações de dependência entre as questões aqui oferecidas, cada uma dela é apresentada em separado das demais, sendo necessário concluir e submeter sua resposta para que a próxima questão fique disponível, assim como não será possível acessar as questões já respondidas. Portanto, peço-lhe muita atenção ao submeter cada questão, pois, feito isso, a mesma não mais poderá ser retomada.
- ☞ Por sua preciosa atenção e colaboração, reitero meus mais sinceros agradecimentos.

Winston G. Schmiedecke

Questões

- 1) Quais disciplinas por você cursadas na licenciatura claramente trabalharam com a HC?
 - Teóricas. Quais?
 - Oficinas de Projetos. Quais?
 - Metodologia de Ensino. Quais?
 - Estágio Supervisionado. Quais?
 - Outras. Quais?
 - Nenhuma
- 2) Quais as principais características dessas aulas?
 - Aulas expositivas com ações concentradas na figura do professor da disciplina
 - Oferecimento de informações gerais e sintéticas (datas, nomes, fatos – “invenções” / “descobertas”), constituindo um panorama geral sobre o período e/ou as personalidades da ciência trabalhadas, mas sem aprofundamento
 - Proposição de estudos de caso, priorizando somente alguns assuntos, períodos e personalidades da ciência, em detrimento de abarcar todos episódios mais conhecidos e notórios da HC
 - Contextualização das ideias e fatos trabalhados em sua época e seu local de proposição

- Trabalho com textos extraídos de fontes primárias e/ou secundárias para serem discutidos sistematicamente nas aulas
- Apresentação de vídeos (filmes, documentários, séries de canais de TV sobre divulgação científica etc.) em sala de aula, seguidos por discussões
- Apresentação de seminários, por parte dos alunos, de excertos / capítulos selecionados das fontes escolhidas pelo professor para nortear as discussões propostas em sala de aula
- Elaboração de sequências de ensino de Física, unidades didáticas, planos de aula ou assemelhados utilizando a HC como estratégia didático-pedagógica
- Proposição de trabalho de cunho interdisciplinar utilizando a HC em sintonia com as demais ações desenvolvidas
- Outras. Quais?

3) Dos fatores destacados no questionário diagnóstico (questão 4 do Apêndice A), destaque APENAS os dois (2) que você considera como mais difíceis de serem superados para a efetivação do trabalho com a História da Ciência (HC) nas suas aulas de Física na Escola Básica. Se considerar necessário, identifique e acrescente fatores adicionais na alternativa “Outros”.

- Escassez de livros didáticos que abordam a HC de forma sistemática
- Falta de uma cobrança efetiva dos conhecimentos próprios da HC nas provas vestibulares, como é o caso do ENEM.
- Desejável conhecimento de aspectos históricos, filosóficos e sociológicos relacionados ao conteúdo científico abordado
- Necessidade do uso de fontes primárias (textos de cientistas do passado) na preparação de materiais didáticos pelo docente
- Dificuldade para analisar os episódios históricos estudados no contexto de época a que pertencem, evitando promover abordagens anacrônicas
- Desconhecimento de materiais alternativos com vocação didática (vídeos, paradidáticos, artigos científicos etc.) abordando o uso da HC no Ensino de Física
- Baixo interesse e/ou ausência de hábitos de leitura por parte dos alunos, gerando dificuldades no trabalho com os textos necessários ao desenvolvimento do conteúdo histórico
- Dificuldade em romper com uma cultura que insiste em “genializar” personalidades da HC, superestimando a capacidade da ciência em resolver problemas dos mais diversos níveis
- Necessidade de tempo didático para o trabalho específico com a HC, considerando que o tempo disponível não é suficiente sequer para trabalhar os respectivos conteúdos científicos
- Outros. Quais?

4) Em que o curso deixou a desejar no sentido de efetivamente torná-lo(a) apto(a) a incorporar a História da Ciência em sua atual / futura prática docente?

- Predominância de aulas teóricas concentradas em demasia na figura do professor, sem uma efetiva interlocução com os anseios e o cotidiano do licenciando
- Carência de disciplinas focadas na formação geral do professor, capazes de oferecer um conjunto mais diversificado de estratégias didáticas ao licenciando
- Baixo índice / Ausência de professores com formação específica em HC, aptos a proporem e sustentarem discussões que superassem a transmissão de informações meramente memorizadas e desconexas entre si
- Baixo índice / Ausência de disciplinas focando a instrumentalização do licenciando acerca dos critérios e conhecimentos historiográficos trabalhados, como em geral ocorre com outras estratégias didáticas (Experimentação, Abordagem CTS, Resolução de Problemas etc.)
- Omissão de discussões relacionadas à HC nas temáticas trabalhadas pelas disciplinas do chamado “núcleo duro”, focadas na apresentação sumária e acrítica de algoritmos e técnicas de resolução de problemas (“exercícios”) relacionados aos conteúdos científicos abordados
- Outras. Quais?

5) Houve no curso algum tipo de atenção dada à narrativa de fatos relacionados à HC feita no Brasil ou, então, por brasileiros no Exterior? Em caso afirmativo, cite os nomes das personalidades trabalhadas e/ou os episódios históricos abordados.

- Não.
- Sim. Quais?

Apêndice C – Questionário Final

Esclarecimentos

- ☞ Visando concluir minha pesquisa sobre a utilização da História da Ciência (HC) no Ensino de Física, apresento-lhe este último questionário. O principal objetivo consiste em identificar o valor didático do episódio histórico produzido e sua efetividade no exercício dos usos da moderna historiografia da ciência na composição de aulas de Física para a Escola Básica.
- ☞ Para tanto, será necessária uma dose extra de paciência e concentração de sua parte para analisar o episódio histórico elaborado, sua síntese a ser lida pelos alunos e as atividades didáticas sugeridas.
- ☞ Ao manifestar suas opiniões e contribuições a respeito desse conjunto de materiais, peço-lhe que responda às sete (7) questões apresentadas a seguir, com a máxima honestidade e precisão, e reforço meu compromisso de manter em total anonimato e sigilo seus dados pessoais, até porque nenhuma identificação lhe é solicitada ao acessar e responder o questionário.
- ☞ Para evitar comparações e um estabelecimento prévio de relações de dependência entre as questões oferecidas, cada uma delas é apresentada em separado das demais, sendo necessário concluir e submeter sua resposta para que a próxima questão fique disponível. Portanto, peço-lhe muita atenção ao submeter cada questão, evitando tentar acessá-la após sua submissão.
- ☞ Por sua preciosa atenção e inestimável colaboração, novamente apresento-lhe meus mais sinceros agradecimentos.

Winston G. Schmiedecke

Questões

- 1) Sobre o **episódio histórico** elaborado, a linguagem utilizada e a apresentação de ideias e fatos são claras e objetivas, seja para o professor de Física ou para seus alunos?
 - ☐ Sim. Por quê?
 - ☐ Não. Por quê?
 - ☐ Em partes. Por quê?
- 2) O **episódio histórico** produzido permite a exemplificação de qual(is) critério(s) historiográfico(s) característico(s) da Moderna Historiografia da Ciência?
 - ☐ Análise pontual e minuciosa de estudos de caso, neles priorizando a investigação aprofundada de algumas personalidades, períodos ou acontecimentos específicos.
 - ☐ Apresentação das ideias atreladas ao contexto sócio-histórico-cultural em que foram propostas.
 - ☐ Valorização das controvérsias, destacando o papel desempenhado por diversas personalidades na construção da ciência.
 - ☐ Identificação de diferentes níveis superpostos de continuidades e rupturas na constituição das ideias científicas ao longo da história.
 - ☐ Destaque às particularidades das interpretações das várias fontes utilizadas pelos cientistas, incluindo as de caráter extracientífico.
 - ☐ Reconhecimento da importância de outras tradições intelectuais no desenvolvimento da ciência (e não somente as de origem europeia).
 - ☐ Realce à influência de outros tipos de fatores externos (de natureza psicológica, religiosa e social, por exemplo) na prática científica.
 - ☐ Nenhuma.
- 3) A **síntese** do texto referente ao episódio histórico é suficientemente clara e concisa, de modo a oferecer aos alunos uma boa noção das ideias presentes no texto original?
 - ☐ Sim. Por quê?
 - ☐ Não. Por quê?
- 4) As **sugestões de atividades didáticas** foram realizadas de forma clara e concisa, permitindo ao professor compreendê-las e delas se utilizar conforme suas necessidades e possibilidades?
 - ☐ Sim. Por quê?
 - ☐ Não. Por quê?

5) Na sua opinião, as **atividades didáticas sugeridas** oferecem ganhos reais para a qualidade da exposição dos conteúdos científicos da Física (Ensino Médio) em comparação com o que você originalmente faria?

- ☐ Sim. Por quê?
- ☐ Não. Por quê?

6) Tendo por base as dificuldades associadas ao uso da HC como recurso didático nas aulas de Física, você identifica possibilidades de superá-las (ou contorná-las) pela forma como o **episódio histórico** foi elaborado e pela maneira pela qual as **atividades didáticas sugeridas** foram constituídas e articuladas?

- ☐ Sim. Por quê?
- ☐ Não. Por quê?

7) O fato de boa parte das **atividades didáticas sugeridas** apoiarem-se em um episódio da história da ciência nacional pode oferecer algum diferencial em relação aos possíveis resultados esperados da aplicação desse material?

- ☐ Sim. Qual(is)? Por quê?
- ☐ Não. Por quê?

Apêndice D – Síntese do texto “Acordo Nuclear Brasil – Alemanha Ocidental: antecedentes, controvérsias e desdobramentos”

Os estudos a respeito dos usos da energia nuclear iniciaram-se de forma mais evidente após a descoberta da fissão nuclear, realizada por cientistas alemães trabalhando para o regime nazista, no final de 1938.

Devido à grande liberação de energia associada ao processo de fissão, a possibilidade dessa descoberta gerar artefatos de destruição em massa (bombas, por exemplo) fez as demais nações ficarem em estado de alerta e buscarem formas de reagir a uma iminente ameaça à segurança mundial.

Tendo entrado na 2ª Grande Guerra Mundial no final de 1941, os Estados Unidos da América (EUA) intensificaram, nessa época, esforços no sentido de utilizar a fissão nuclear para a fabricação de suas próprias bombas.

Para tanto, arquitetaram e colocaram em prática o chamado Projeto Manhattan, mobilizando milhares de técnicos e cientistas que produziram a primeira bomba nuclear, detonada em julho de 1945, em uma região desértica dos EUA. Três semanas depois, duas outras foram lançadas sobre o Japão, provocando mortes em massa e decretando o final da guerra.

Vencedoras nesse conflito, mas partidárias de regimes políticos, econômicos e sociais muito diferentes, as duas superpotências surgidas do pós-guerra, EUA e URSS (União das Repúblicas Socialistas Soviéticas), promoveram a divisão dos países do mundo em dois grandes blocos.

As diversas divergências entre os princípios norteadores de tais blocos, somadas à determinação dos EUA e da URSS em imporem suas regras e demandas aos países que mantinham em suas respectivas esferas de influência, geraram uma série de tensões e conflitos, característicos do período denominado Guerra Fria.

A história mostra que o nível de desenvolvimento de uma nação tem relação direta com os respectivos investimentos realizados em ciência e tecnologia, com reflexos diretos na qualidade de vida dos cidadãos. Por exemplo, uma das principais vantagens competitivas da economia estadunidense sempre foi sua capacidade de transferir rapidamente a tecnologia desenvolvida para fins militares em direção à produção civil.

Determinados a verem suas indústrias comercializando produtos relacionados à recém-descoberta tecnologia nuclear, os EUA sofrem um forte golpe quando, em 1949, a URSS realizou testes nucleares, detonando sua própria bomba atômica. Passados mais três anos, foi a vez da Grã-Bretanha mostrar ao mundo que dominava a tecnologia nuclear, ao também efetuar detonações.

Conscientes de que essa tecnologia em breve poderia se espalhar mundo afora, os EUA tomaram a dianteira e implementaram, em 1957, o programa *Átomos pela Paz*, destinado a manter uma rede internacional de intercâmbio visando à comunicação dos usos da energia nuclear para fins exclusivamente civis – e sem transferência tecnológica.

Nesse contexto, o Brasil recebeu seus primeiros reatores nucleares de pesquisa, após vários anos tentando adquirir os conhecimentos da tecnologia nuclear por outras vias. Por exemplo, após a criação do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq⁴⁰), em 1951, seu primeiro presidente, o Almirante Álvaro Alberto, insistiu, junto ao Governo Federal, quanto à importância de se elaborar uma legislação protegendo o país contra a espoliação estrangeira de nossos minerais estratégicos. Ele defendeu a adoção de “compensações específicas”, segundo a qual transações comerciais envolvendo minerais de interesse para a indústria nuclear deveriam ocorrer apenas na base de troca por tecnologia.

Todavia, tais esforços não foram suficientes para evitar que grande parte desses minerais continuasse a ser comercializada, em especial para os EUA, sem a almejada reciprocidade em termos de transferência tecnológica. Assim sendo, restava ao Brasil e aos seus cientistas contentarem-se com os reatores de pesquisa doados no contexto do programa *Átomos pela Paz*.

Ainda assim, o governo brasileiro recusou-se a assinar o *Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares* (TNP), proposto pelas grandes potências nucleares, em 1968, segundo o qual somente os países que já produziam sistemas de armas atômicas ficariam livres da necessidade de se submeterem a periódicas inspeções internacionais de suas instalações nucleares, sendo que os demais signatários se comprometiam a não construir armas atômicas. Atento às discriminações contidas nesse tratado, o Brasil somente se tornou seu signatário no ano de 1997, sob um governo particularmente subserviente aos interesses estadunidenses, mas após a tecnologia nuclear ter sido conquistada internamente.

A busca brasileira pelo conhecimento das etapas necessárias ao domínio dessa tecnologia estendeu-se pelas décadas de 1970 e 1980, a partir da decisão da compra da primeira usina termonuclear do Brasil (Angra I, em referência ao nome da cidade fluminense que a abrigaria) feita pelos representantes da ditadura militar que então governavam o país.

Essa compra foi consumada a partir da assinatura de um contrato, em 1971, com a empresa norte-americana *Westinghouse Electric Corporation*. Como a política comercial dos EUA era vetar a transferência tecnológica, não era prevista em contrato a transferência dos conhecimentos necessários para o domínio brasileiro da tecnologia associada ao funcionamento da usina.

Seguindo a tendência da maioria das usinas comercializadas pelas empresas estadunidenses, Angra I utiliza um reator do tipo *Pressured Water Reactor* (PWR), o qual é alimentado por urânio enriquecido e refrigerado a água leve.

⁴⁰ Atual Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Devido às barreiras impostas à transferência da tecnologia nuclear, ao fato do Brasil ter se tornado dependente do urânio americano para o reator e, ainda, à imposição de que Angra I ficasse sob a salvaguarda da IAEA (*Agência Internacional de Energia Atômica*), as autoridades brasileiras buscavam outras formas de viabilizar a almejada aquisição da tecnologia nuclear e, se possível, abafar as críticas dos setores da sociedade contrários à aquisição de Angra I.

Surgia, assim, um dilema técnico: desenvolver a tecnologia de urânio natural (que poderia ser conduzida de maneira independente) ou seguir buscando a tecnologia de urânio enriquecido (mais cara e avançada) com ajuda externa. Políticos e tecnocratas brasileiros elegeram a segunda opção; mas, dado que os EUA tinham sido um provedor incerto, o Brasil viu-se forçado a procurar a cooperação de outro país.

As incertezas geradas pela crise mundial do petróleo (1973), em oposição às virtuais necessidades energéticas de um país que via sua economia na época crescendo cerca de 11% ao ano, serviram de justificativa adicional para o governo do ditador Ernesto Geisel assinar, em junho de 1975, um acordo nuclear com a Alemanha Ocidental, visando aos usos pacíficos da tecnologia nuclear.

Prevendo até 1990 a construção de oito centrais nucleares baseadas no enriquecimento do urânio, o objetivo maior do *Acordo* seria o domínio de todo o ciclo do chamado “combustível nuclear”. Para tanto, seria necessário contornar as limitações impostas pelo governo estadunidense quanto às questões envolvendo a transferência da tecnologia nuclear, às quais a Alemanha Ocidental não estava imune.

Assim, aos germânicos coube assegurar o fornecimento de urânio para as usinas, fornecer equipamentos e serviços nucleares e, principalmente, propor uma estratégia diferenciada de enriquecimento de urânio a ser compartilhada com os cientistas brasileiros envolvidos no programa. É importante frisar que o Brasil possuía grandes reservas de urânio já conhecidas naquela época.

Para propor, implementar e coordenar um programa de recursos humanos visando atender à nova política nacional de energia nuclear, formando e treinando o corpo de profissionais necessários para o trabalho nas usinas, foi criado o Pronuclear (Programa de Recursos Humanos para o Setor Nuclear).

Para promover a transferência de conhecimentos tecnológicos e científicos, seria razoável imaginar que essa infraestrutura ficaria a cargo dos representantes da comunidade científica brasileira. Porém, grande parte desses profissionais não identificava no *Acordo* os elementos necessários à geração de políticas e práticas compatíveis com suas principais intenções. Até porque poucos foram os cientistas consultados acerca dos méritos e deméritos das opções relacionadas à assinatura do *Acordo*.

Desse modo, muitos cientistas manifestaram suas críticas acerca dos detalhes do *Acordo*, em especial quanto à: i) precariedade da política de formação de pessoas para a área nuclear; ii) escolha de não especialistas (diplomatas e políticos) para decidirem os aspectos relacionados à constituição da

infraestrutura da tecnologia nuclear; iii) inconsistência dos resultados de pesquisas sobre o potencial hidrelétrico brasileiro e a estimativa feita dos custos de instalação de usinas hidrelétricas e termonucleares; e iv) possibilidade de aplicações bélicas da tecnologia nuclear.

Havia também um grupo menor de cientistas que se diziam favoráveis ao *Acordo*, geralmente ocupando cargos de confiança do governo na esfera pública. Alguns desses cientistas foram responsáveis diretos pela condução do chamado Programa Nuclear Paralelo (PNP), criado pelos militares no final de 1979.

Apesar das críticas recebidas, o Pronuclear foi responsável pela formação de centenas de profissionais especialistas na área nuclear. Para tanto, foi consumido muito dinheiro público. Porém, reflexos de uma conjunção de acontecimentos ocorridos nos final dos anos 1980 geraram uma forte queda nos aportes financeiros do programa, tais como o acidente na usina norte-americana de Three Miles Island e a segunda grande crise econômica gerada pelo aumento dos preços do barril de petróleo.

Para agravar esse quadro, a ineficácia da tecnologia de enriquecimento de urânio, oferecida ao Brasil pelos técnicos alemães, atrasou demais a construção das usinas e, assim, impediu que os profissionais formados pelo Pronuclear conseguissem aplicar os conhecimentos recém-adquiridos em situações concretas.

Esse complexo quadro acabou por intensificar entre os militares (que ainda estavam no poder) a ideia de implantar um programa independente do oficial (na clandestinidade e sem fiscalização internacional) para o desenvolvimento da tecnologia do enriquecimento do urânio pelo método da ultracentrifugação – o referido PNP.

Membros das Forças Armadas uniram esforços com cientistas de sua confiança, ganhando força e gradual presença nos noticiários até o seu reconhecimento oficial, por parte do governo brasileiro – o que ocorreu somente após o final da ditadura militar.

Assim, com o desenrolar do PNP ao longo da primeira metade dos anos 1980, os recursos destinados ao Pronuclear foram rareando drasticamente. Na prática, o Pronuclear encerrou suas atividades em 1986, sendo pouco tempo depois incorporado oficialmente ao PNP, rebatizado com o nome de Programa Nuclear da Marinha. Isto porque a principal justificativa oficial para a continuidade do programa seria a construção de um submarino nuclear, destinado a patrulhar o vasto litoral brasileiro.

Nessa mesma época, a falência do *Acordo* com a Alemanha foi reconhecida, iniciando-se uma etapa de negociações visando à manutenção dos principais compromissos firmados e tentando minimizar os prejuízos por ele causados.

Por fim, vale destacar que apenas uma usina (Angra II) foi efetivamente construída e entrou em operação nos termos do *Acordo*; ainda assim, isso ocorreu somente em 2000, após inúmeros percalços e um estouro imenso em seu orçamento inicial.