

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E
TECNOLÓGICA**

Marinês Domingues Cordeiro

**DOS CURIE A RUTHERFORD:
ASPECTOS HISTÓRICOS E EPISTEMOLÓGICOS DA
RADIOATIVIDADE NA FORMAÇÃO CIENTÍFICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção de grau de Mestre em Educação Científica e Tecnológica.
Orientador: Prof. Dr. Luiz O. Q. Peduzzi

Florianópolis
2011

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

C794d Cordeiro, Marinês Domingues

Dos Curie a Rutherford [dissertação] : aspectos históricos e epistemológicos da radioatividade na formação científica / Marinês Domingues Cordeiro ; orientador, Luiz Orlando de Quadro Peduzzi. - Florianópolis, SC, 2011.
234 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Educação. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica.

Inclui referências

1. Educação científica e tecnológica. 2. Radioatividade. 3. Ciência - Filosofia. 4. Ciência - História. 5. Professores - Formação. I. Peduzzi, Luiz Orlando de Quadro. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.

CDU 37



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E
TECNOLÓGICA

**“DOS CURIES A RUTHERFORD: ASPECTOS HISTÓRICOS E
EPISTEMOLÓGICOS DA RADIOATIVIDADE NA FORMAÇÃO
CIENTÍFICA”**

Dissertação submetida ao Colegiado
do Curso de Mestrado em Educação
Científica e Tecnológica em
cumprimento parcial para a obtenção
do título de Mestre em Educação
Científica e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 21/03/2011

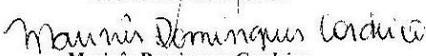
Dr. Luiz Orlando de Quadro Peduzzi (CFM/UFSC - Orientador)

Dr^a. Irinéa de Lourdes Batista (DF/UEL - Examinadora)

Dr. Valderes Drago (CFM/UFSC - Examinador)

Dr. Mércies Thadeu Moretti (CFM/UFSC - Suplente)


Dr. José de Pinho Álvys Filho
Coordenador do PPGECT


Marinês Domingues Cordeiro

Florianópolis, Santa Catarina, março de 2011.

Dedico esta dissertação à minha família e,
em especial, à Betina.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha filha Betina. Apesar da tenra idade, ela demonstrou compreensão com uma mãe pesquisadora. Dividiu o tempo que lhe é de direito com artigos e pesquisas, leituras infundáveis, horas à frente de um computador. E nunca deixou de me apoiar, com todo o seu carinho e amor.

Em segundo lugar, agradeço ao povo brasileiro que, através da Capes, financiou este trabalho – e a ele, espero dar o retorno merecido por acreditar em minhas ideias.

Por fim, e por diversos motivos, agradeço a esta dissertação. Agradeço por ter me apresentado colegas que se tornaram grandes amigos – e, em especial, à minha irmã de orientação, Danielle Nicolodelli Tenfen. Por esclarecer cada vez mais o valor inestimável de minha família – meu pai, meus irmãos, minha sobrinha, minha filha, de maneira mais importante, minha mãe – e do apoio que só quem ama profundamente pode dar. Por me lembrar da doçura e do papel da leitura recreativa. Por ter me proporcionado a convivência, nos primeiros passos de minha trajetória acadêmica, com grandes professores – dentre eles, os professores Fábio Gonçalves, que gentilmente analisou este trabalho, Valderes Drago e Irinéa Batista, que aceitaram examiná-lo. Por ter me apresentado um orientador brilhante e exemplar, exigente, mas gentil, resiliente e compreensivo, que sempre enxergou em mim um potencial que jamais deixou de exigir ser alcançado. Por ter colocado em meu caminho um grande amor. Enfim, por ter deixado claro, de uma vez por todas, minha vocação, minha paixão, aquilo que quero continuar fazendo pelo resto de minha vida.

Por esta dissertação, vejo hoje o valor de todas essas pessoas. A elas também serei eternamente agradecida.

RESUMO

Estruturado em cinco artigos, precedidos de uma introdução, que justifica a forma da dissertação, este trabalho tem por objetivo investigar aportes epistemológicos sobre a gênese e desenvolvimento da radioatividade para uma disciplina sobre a história da física e para a formação de professores.

No primeiro artigo (capítulo 1 da dissertação), discute-se sete visões distorcidas do trabalho científico e cinco características compartilhadas por algumas epistemologias pós-positivistas, nos termos de Gil-Pérez et al (2001), aprofundando-se concepções filosóficas subjacentes a cada uma delas. Argumenta-se que essas imagens estão presentes implícita e explicitamente nos livros e manuais didáticos, inclusive de nível superior. Eles são produtos de uma tradição de didatização descontextualizadora, o que é analisado por meio da Transposição Didática de Chevallard (1991). Por fim, propõe-se a utilização didática da História da Ciência para desconstruir cada uma dessas imagens deformadas da ciência e do trabalho científico, justificando que um ensino contextualizado pode preencher lacunas epistemológicas há muito tempo identificadas no ensino de ciências tradicional.

O segundo artigo (capítulo 2 da dissertação) trata da gênese e dos primeiros anos da radioatividade, tendo como balizas as Conferências Nobel de Pierre e Marie Curie, associadas a outras obras de historiadores da ciência, biografias e trabalhos originais dos cientistas envolvidos. Neste material, vários contra-exemplos às sete imagens deformadas da ciência são constatados e explorados.

No terceiro artigo (capítulo 3 da dissertação), aborda-se um período da radioatividade, que tem como foco os trabalhos de Ernest Rutherford, que se estendem desde a classificação das radiações até o modelo atômico nuclear, culminando na descoberta dos isótopos radioativos, por Frederick Soddy. Neste segmento, são utilizados originais de trabalhos clássicos para a reconstrução de sua história, que depois é analisada, permitindo a discussão das cinco características do trabalho científico compartilhadas pelas filosofias modernas da ciência.

A partir do estudo histórico empreendido nos artigos 2 e 3, analisa-se, no quarto artigo (capítulo 4 da dissertação), de que forma a radioatividade é desenvolvida em um livro didático de estrutura da matéria, procurando-se evidenciar o que se ganha e o que se perde com uma abordagem descontextualizada desse assunto.

No quinto artigo (capítulo 5 da dissertação), avalia-se a inserção de um módulo de ensino, cujos textos base são artigos 2, 3 e 4, na disciplina de Evolução dos Conceitos de Física, do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, no segundo semestre letivo de 2010, a partir de um exercício proposto aos alunos, de reconhecimento da transposição didática de um livro do ensino médio. Assim, discute-se o valor da história e da filosofia da ciência na formação desses alunos, que em grande probabilidade se tornarão, eles mesmos, professores.

Palavras-chave: Radioatividade. História e Filosofia da Ciência. Formação de professores.

ABSTRACT

Presented in five articles, articulated by an introduction which justifies its chosen format, this work aims the research of the epistemological foundations of radioactivity's genesis and development, to be used in a discipline of history of physics.

The first article (chapter 1) discusses seven distorted conceptions of the scientific work and five features of it shared by the post-positivist epistemologies, proposed by Gil-Pérez et al (2001), remarking the philosophical lines that approach each of them. It is argued that these images are present, implicitly or explicitly, in textbooks – even in those directed to university courses. This fact is analyzed by the Theory of Didactic Transposition, by Chevallard (1991). In the end, the use of history of science emerges as a tool for undermining each of those problematic conceptions of science and of the scientific activity, arguing that a contextualized teaching may fill in the epistemological gaps that have for so long been identified in the traditional science teaching.

The second article (chapter 2) is devoted to the genesis and early years of radioactivity, based on Pierre and Marie Curie's Nobel Lectures, associated to works of historians of science, biographies and original papers. In this research, various examples that contradict the problematic conceptions are exposed and explored.

Focused on Ernest Rutherford's work, the third article (chapter 3) studies the history of radioactivity's period of development, from the classification of radiations to the nuclear model of the atom, peaking at the discovery of isotopes, by Frederick Soddy. To make such research, original papers are used to rebuild this history, which is later analyzed, allowing the discussion of five features of the scientific work.

Based upon the historical study done on articles 2 and 3, the fourth one (chapter 4) analyzes the textbook traditionally used in the discipline of The Structure of Matter, pointing to the results of a decontextualized approach to radioactivity.

The fifth article (chapter 5), evaluates the insertion of articles 2, 3 and 4 in a discipline of Evolution of the Physics Concepts, from the Physics Department at the Federal University of Santa Catarina, in the second semester of 2010.

Keywords: Radioactivity. History and Philosophy of Science. Teacher's upbringing

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1: Esquema da transposição didática lato sensu	44
Fig. 2: A Transposição Didática de Chevallard (1991)	48
Fig. 3: Capítulos do livro de Eisberg e Resnick (1979)	159
Fig. 4: Sumário dos capítulos designados pelos autores para o 3º ano do ensino médio	195
Fig. 5: Perguntas básicas, dirigidas a todos os alunos nas entrevistas semi-estruturadas	196
Fig. 6: Perguntas singulares	197

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
Referências	24
1 A CONTEXTUALIZAÇÃO NOS SABERES CIENTÍFICOS ESCOLARES E A IMPORTÂNCIA DA ETAPA INTERNA DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA	27
1.1 Resumo	28
1.2 Introdução	28
1.3 Trabalho científico: características e imagens deformadas	30
1.4 A Transposição Didática de Chevallard (1991)	40
1.5 Alguns efeitos da transposição didática externa	48
1.6 A transposição didática interna e o papel fundamental do professor: considerações finais	53
REFERÊNCIAS	55
2 AS CONFERÊNCIAS NOBEL DE MARIE E PIERE CURIE: A GÊNESE DA RADIOATIVIDADE NO ENSINO	63
2.1 Resumo	64
2.2 Introdução	64
2.3 Por que as Conferências Nobel do casal Curie?	67
2.4 A tradução das Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie	70
2.4.2 Conferência Nobel de Pierre Curie	71
2.4.3 Conferência Nobel de Marie Curie	76
2.5 Implicações educacionais	84
2.6 Considerações finais	99
REFERÊNCIAS	102
3 ASPECTOS DA NATUREZA DA CIÊNCIA E DO TRABALHO CIENTÍFICO NO PERÍODO INICIAL DE DESENVOLVIMENTO DA RADIOATIVIDADE	107
3.1 Resumo	108
3.2 Introdução	108
3.3 McGill, Manchester e Cambridge	112
3.4 Um histórico da radioatividade: da desintegração atômica à isotopia	114
3.5 Características do trabalho científico atribuíveis ao desenvolvimento da radioatividade	133

3.6 Considerações finais	145
REFERÊNCIAS	147
4 CONSEQUÊNCIAS DAS DESCONTEXTUALIZAÇÕES EM UM LIVRO DIDÁTICO: UMA ANÁLISE DO TEMA RADIOATIVIDADE	154
4.1 Resumo	155
4.2 Introdução	155
4.3 As descontextualizações do saber	156
4.4 As descontextualizações presentes em um livro didático no ensino da radioatividade	158
4.4.1 Raios X	160
4.4.2 Modelos Atômicos	162
4.4.3 Radioatividade e modelos nucleares	168
4.5 Que imagens deformadas do trabalho científico as seções em questão propagam?	174
4.6 O que se ganha? O que se perde?	177
REFERÊNCIAS	180
5 UM MÓDULO SOBRE A RADIOATIVIDADE: SUA HISTÓRIA E SUA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA	183
5.1 Resumo	184
5.2 Introdução	184
5.3 A disciplina, os sujeitos de pesquisa, o módulo e suas bases teóricas	187
5.4 Implementação	189
5.4.1 Primeira aula	189
5.4.2 Segunda aula	190
5.4.3 Terceira aula	191
5.5 Avaliação	192
5.6 Interpretação dos dados e materiais	198
5.6.1 Que sinais de dessincretização de conceitos há na estrutura do texto?	198
5.6.2 Que traços de (des)contextualização histórica há no material?	204
5.6.3 Sobre a diferença entre dessincretização e descontextualização histórica	208
5.6.4 Que indícios de (des)personalização há na abordagem dos conteúdos?	211
5.6.5 Que imagens (deformadas ou não) do trabalho científico o discurso do livro propaga?	215

5.7 Considerações finais	223
REFERÊNCIAS	226
CONSIDERAÇÕES FINAIS	230
REFERÊNCIAS	233

INTRODUÇÃO

Eletromagnetismo, espectroscopia, luminescência, radiação X, radioatividade... a segunda metade do século 19 presenciou o advento de fenômenos, conceitos e teorias tão surpreendentes quanto enigmáticos, particularmente no que se refere às suas causas. No início do século 20, a natureza desses fenômenos começou a ser desvendada, e, com a teoria da quantização da energia, a relatividade e o modelo atômico de Bohr, passos importantes foram dados para uma grande reformulação do corpo teórico da física.

Além de um melhor entendimento da própria ciência, os efeitos dessa revolução científica se fizeram sentir na forma de avanços tecnológicos, que introduziram e continuam a introduzir mudanças periódicas e significativas nas vidas das pessoas. Porém, em termos educacionais, a física do Ensino Médio com frequência se encontra parada naqueles anos anteriores a todas essas descobertas, fazendo com que nomes como Thomson, Planck, Einstein, Curie, Rutherford, Bohr e suas contribuições científicas não sejam conhecidos pelos alunos. Efetivamente, a escola secundária brasileira parece não conseguir aproximar-se da efervescência científica que já se passou há mais de um século, “escondendo-se” atrás da física clássica.

Entretanto, o campo de pesquisa sobre inserção de tópicos de física moderna no ensino médio vem ganhando cada vez mais adeptos na área da educação científica e tecnológica. Na realidade, esta é uma reivindicação bastante antiga; Terrazan (1992) já apontava para a disparidade entre a ciência ensinada na escola e a ciência propagada pelos meios de comunicação.

Com efeito, Ostermann (2000) destaca os temas de física moderna e contemporânea apontados pela comunidade de professores de física, de pesquisadores em ensino de física e de pesquisadores em física como importantes para a formação do estudante do ensino médio. Sua lista contempla os seguintes assuntos: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios-X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, big bang, estrutura molecular e fibras ópticas. O foco do presente trabalho é um dos temas listados pela autora, e por ela situado como o fenômeno cuja descoberta abre o período que se denomina Física Moderna: a radioatividade.

É interessante observar que o fenômeno da radioatividade vem sendo negligenciado nas pesquisas em educação científica, como atestam as revisões bibliográficas de Ostermann e Moreira (2000) e Pereira e Ostermann (2009). As pesquisas demonstram uma inclinação muito maior ao tratamento de outros temas, como a mecânica quântica e a relatividade. Apesar de serem muito importantes na Física Moderna, esses temas, em seu desenvolvimento histórico, encontram-se bastante atrelados a outros tantos, também essenciais para muitas explicações dos fenômenos cotidianos dos alunos. A radioatividade, com suas aplicações medicinais, energéticas e bélicas, é um deles. Além disso, o significado científico da radioatividade justifica ainda mais a necessidade de tratá-la nas salas de aula: sua descoberta, fortemente ligada à descoberta dos raios X, gerou controvérsias e investigações que culminaram em novos modelos atômicos e foram determinantes para o nascimento da física e da química nucleares e da física de partículas.

A escolha da radioatividade encontra ainda alguns fatores motivadores para a atração dos alunos: as figuras dos Curie e de Rutherford. O inegável carisma de Madame Curie – a cientista que rendeu o maior número de biografias científicas para crianças em língua inglesa (OWENS, 2009) – e de Ernest Rutherford, considerado o maior experimental de todos os tempos, e certos aspectos de suas biografias, podem servir de elemento motivador para o aluno que geralmente encontra, nas aulas de física, abordagens exclusivamente matemáticas de fenômenos idealizados – ou seja, pode aproximar o aluno do empreendimento científico.

Efetivamente, ainda mais escassos que os trabalhos sobre a radioatividade são aqueles que tratam dos aspectos históricos desta ciência. É interessante o fato de que a área de História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC) no Ensino de Ciências compartilha de uma história parecida com a da área de inserção de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, com ambas ganhando força nos últimos anos. Mas a reaproximação de História e Filosofia da Ciência do Ensino de Ciências não é exatamente um fenômeno recente; desde o fim da década de 1980, observa-se um crescimento razoável em produções na área de ensino que trabalham na inserção de tópicos de HFSC nos diversos níveis de instrução. Vários países promoveram reformas curriculares que propunham a incorporação desses tópicos (MATTHEWS, 1995); aqui no Brasil, a proposta curricular mais recente, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, os PCN+ (BRASIL, 2002), reconhece a capacidade de contextualização –

inclusive histórica – como uma das competências que o ensino médio almeja desenvolver no aluno.

São muitos e bastante conhecidos os argumentos de quem defende o Ensino de Ciências a partir de uma abordagem histórico-filosófica, por seu poder humanizador da ciência (atraindo alunos com inclinações sociais); por sua capacidade de combater a falta de significação dos conceitos científicos (efeito do ensino de ciências descontextualizado, tradicionalmente aplicado); por potencialmente elucidar a relação íntima entre ciência, tecnologia e sociedade (agregando valor cultural ao corpo de conhecimentos científicos do aluno).

A tradição do Ensino de Ciências traz consigo hábitos de descontextualização que atualmente, com a consolidação de áreas como a HFSC e o enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) no ensino, já não são mais enxergados com os mesmos olhos; o fracasso de cursos científicos mostra que há alguns pontos importantes que devem ser revistos para que problemas de evasão e repetência, que se estendem desde a década de 1960, possam ser revertidos.

Há na literatura especializada um número suficiente de trabalhos que sustenta a relevância de uma formação histórica e contextualizada, não apenas de estudantes de ensino médio, mas também dos futuros cientistas e professores (WOODALL, 1967; CRUZ, 1985; MATTHEWS, 1995; BATISTA, 2004; MARTINS, 2006; ERDURAN et al, 2007; CARVALHO; GIL-PÉREZ, 2009). Não obstante, há ainda uma distância muito grande entre a produção acadêmica e o ensino – mesmo no âmbito universitário. Então, se efetivamente há a necessidade de uma formação mais contextualizada do aluno do ensino médio, há de se contextualizar também a formação do professor que atuará nesse nível de ensino.

No sentido de promover a formação histórico-filosófica do futuro professor (e também do futuro pesquisador em física) em um tema de Física Moderna até aqui negligenciado pela literatura especializada em ensino de ciências, a presente pesquisa objetiva responder as seguintes questões: *que aspectos históricos, filosóficos e conceituais devem constar em um texto sobre a radioatividade, dirigido ao aluno de uma disciplina de história da física? Como eles podem auxiliar na compreensão contextualizada desse fenômeno?*

A fim de propiciar ao aluno da disciplina Evolução dos Conceitos da Física, da Universidade Federal de Santa Catarina, subsídios para que o seu entendimento da radioatividade extrapole a compreensão descontextualizada, dessincretizada e despersonalizada

presente em textos de disciplinas como Estrutura da Matéria, por exemplo, de forma a que ele também reconheça, junto a esse assunto, aspectos e características relevantes sobre a natureza da ciência e do trabalho do cientista foram traçados cinco objetivos específicos:

- 1) Analisar possíveis consequências da didatização descontextualizada dos saberes científicos em manuais didáticos.
- 2) Investigar aspectos históricos da gênese e do desenvolvimento da radioatividade no período de 1896 a 1913.
- 3) Analisar a transposição didática operada sobre o fenômeno da radioatividade e suas consequências para o ensino.
- 4) Identificar, na história do tema, aspectos filosóficos e conceituais relevantes à discussão na disciplina Evolução dos Conceitos da Física da UFSC.
- 5) Desenvolver um módulo sobre a radioatividade voltado para o aluno dessa disciplina.
- 6) Implementar e avaliar a inserção desse módulo em sala de aula.

A dissertação está estruturada na forma de artigos. O primeiro deles, intitulado “*A contextualização dos saberes científicos escolares e a importância da etapa interna da transposição didática*”, aprofunda os referenciais didático e epistemológico escolhidos para o alcance dos objetivos do trabalho. Assim, neste capítulo, descreve-se as sete categorias de imagens deformadas do trabalho científico e as cinco características compartilhadas pelas novas correntes epistemológicas, expostas por Gil-Pérez et al (2001). A seguir, procede-se a uma descrição detalhada da Transposição Didática de Chevallard (1991). Articulando o referencial epistemológico e o referencial didático, levanta-se a discussão sobre as imagens distorcidas da ciência que podem ser propagadas por uma transposição didática externa descontextualizadora e se defende o papel essencial da transposição didática interna – e, portanto, do professor – no ajuste das novas concepções da educação científica – reconhecidamente contextualizadoras – no fenômeno da transposição didática.

“*As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino*” constitui o segundo capítulo da dissertação. Nele, contra-exemplos às sete imagens deformadas do trabalho científico são analisados com base nas Conferências Nobel do casal. Ainda, são propostas discussões de cunho motivacional, histórico, epistemológico e conceitual, passíveis de serem levadas às aulas de uma disciplina sobre a História da Física, e também da Química.

O terceiro capítulo da dissertação, constituído pelo artigo “*Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial do desenvolvimento da radioatividade*”, apresenta um estudo histórico sobre a radioatividade do período que vai de 1899 a 1913. Com base nesse período, discute-se exemplos que corroboram as cinco características do trabalho científico destacadas por Gil-Pérez et al (2001).

Em função da pesquisa histórica e epistemológica desenvolvida nos capítulos 2 e 3, e do referencial apresentado no capítulo 1, empreende-se, no capítulo 4, sob o título “*Consequências das descontextualizações em um livro didático; uma análise do tema radioatividade*”, uma investigação à luz da Transposição Didática, em um livro tradicionalmente utilizado em disciplinas de Estrutura da Matéria de cursos de Física (EISBERG; RESNICK, 1979). Com esta investigação, pretende-se mostrar que os pressupostos de descontextualização, despersonalização e dessincronização, da Transposição Didática de Chevallard, estão fortemente enraizados no livro. Discute-se, então, as consequências desse tipo de abordagem para a formação de futuros professores e cientistas e o que se pode fazer para preencher as lacunas e os problemas encontrados.

O capítulo 5 refere-se ao artigo intitulado “*Um módulo sobre a radioatividade: sua história e sua transposição didática*”. Nele, descreve-se a implementação e a avaliação de um módulo de ensino sobre a radioatividade, desenvolvido na disciplina de Evolução dos Conceitos da Física. Além da história da radioatividade e de discussões de natureza epistemológica, o módulo promove a análise de dois livros didáticos – uma delas como exemplo e outra de caráter avaliativo, pelo aluno. Buscou-se mostrar a história da radioatividade e a filosofia da ciência como potencializadoras do discernimento dos processos de didatização.

A redação de teses e dissertações na forma de artigos, embora não usual, é encontrada Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia (FREITAS, 2007; OLIVEIRA, 2010; TEIXEIRA, 2010).

Teixeira (2010) justifica sua escolha apontando argumentos favoráveis e contrários ao formato, enfatizando que os malefícios (a sobreposição de assuntos e a fragmentação de artigos) são certamente sobrepujados pelos benefícios de tal exercício. Ele destaca a visibilidade do trabalho, a produtividade do pesquisador, a interação com os pares (quando da submissão a periódicos e eventos, na forma de pareceres de árbitros), a formação do pesquisador (que é a função de mestrados acadêmicos e doutorados), a diversificação de métodos de pesquisa e o maior rigor.

A ciência não é construída por cientistas isolados, mas sim, a partir de suas interações dentro de uma comunidade que compartilha dos mesmos valores. Como bem enfatiza Longino (1990) – e todos os filósofos que defendem o caráter social da ciência – a comunicação tem um papel fundamental para a constituição do próprio empreendimento científico.

Certamente, e como ressalta a filósofa, para que exista a comunicação científica, há a necessidade de uma linguagem compartilhada pela comunidade, além de meios reconhecidos para que as pesquisas cheguem ao conhecimento dos pares. Entretanto, redigir e expor investigações são habilidades que devem ser exercitadas e, sendo o mestrado acadêmico a primeira das etapas na formação de um pesquisador, pode-se afirmar que esse é o momento mais propício a se desenvolver essa capacidade de comunicação.

REFERÊNCIAS

BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria da Educação Média e Tecnológica, 2002. 244 p.

BATISTA, I. L. O ensino de teorias físicas mediante uma estrutura uma Estrutura Histórico-Filosófica. **Ciência e Educação (UNESP)**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 461-476, 2004.

CARVALHO, A. M. P; GIL-PÉREZ, D. Formação de professores de ciências: tendências e inovações. 9ª ed. São Paulo: Cortez Editora, 2009. 120 p.

CHEVALLARD, Y. *La transposition didactique (Du savoir savant au savoir enseigné)*. Grénoble: Edition la Pensée Sauvage, 1985.

CRUZ, F. F. S. O conceito de força no pensamento grego. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**: Florianópolis, v. 2, n. 1, p. 16 – 24, abr. 1985.

EISBERG, R; RESNICK, R. *Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas*. Tradução de Paulo Costa Ribeiro, Enio Frota da Silveira e Marta Feijó Barroso. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.

ERDURAN, S; BRAVO, A. A.; NAAMAN, R. M. Developing epistemologically empowered teachers: examining the role of philosophy of chemistry in teacher education. **Science and Education**. Holanda. 16: 975-989. 2007.

FREITAS, F. H. A. **Os estados relativos de Hugh Everett III: uma análise histórica e conceitual**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia, Salvador.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**. São Paulo, v.7, n.2, 2001.

LONGINO, H. E. **Science as a Social Knowledge: values and objectivity in scientific inquiry**. Princeton: Princeton University Press, 1990.

MARTINS, R. A. A história da ciência e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (ed.) *Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

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, dez. 1995.

OLIVEIRA, A. M. P. **Modelagem matemática e as tensões nos discursos dos professores**. 2010. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia, Salvador.

OSTERMANN, F. **Tópicos de Física Contemporânea e escolas de nível médio e na formação de professores de física**. 2000. Tese (Doutorado em Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

OSTERMANN, F., MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v.5, n.1, 2000.

OWENS, T. Going to school with Madame Curie and Mr. Einstein: gender roles in children’s science biographies. **Cultural Studies of Science Education**, Holanda. Publicado online, fev. 2009. Disponível em <www.springerlink.com> Acesso em: 17 mai. 2009.

PEREIRA, A. P., OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, 2009.

TEIXEIRA, E. S. **Argumentação e abordagem conceitual no ensino de física**. 2010. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia, Salvador.

TERRAZAN, E. A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.9, n.3, dez. 1992.

WOODALL, A. J. Science History: the place of the history of science in science teaching. **Physics Education**, v.2, 1967.

CAPÍTULO 1

A contextualização nos saberes científicos escolares e a importância da etapa interna da transposição didática

1 A CONTEXTUALIZAÇÃO NOS SABERES CIENTÍFICOS ESCOLARES E A IMPORTÂNCIA DA ETAPA INTERNA DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

1.1 RESUMO

Neste artigo, argumenta-se que imagens distorcidas do trabalho científico, presentes implícita e explicitamente em livros didáticos e em sala de aula, são produtos de uma tradição descontextualizadora, que pode ser analisada com a Transposição Didática de Chevallard. No âmbito da etapa interna desse processo, em particular, ressalta-se o papel fundamental do professor, que, para levar ao aluno imagens mais condizentes do empreendimento científico, deve ter uma formação que privilegie, também, discussões de natureza histórico-epistemológicas.

Palavras-chave: Transposição Didática. Natureza da Ciência. História da Ciência.

1.2 INTRODUÇÃO

O fracasso escolar e abandono de carreiras científicas, progressivamente mais comuns na segunda metade do século 20, particularmente entre os europeus e norte-americanos, não condiziam com os anseios de uma sociedade exigente e necessitada de avanços científicos e tecnológicos. Os insucessos do ensino de ciências levaram muitos estudiosos a refletir sobre as suas causas e ponderar acerca de novas alternativas para lidar com essa situação. Nas décadas de 1960 e 1970, foram propostos diversos projetos educacionais para reverter esse quadro, como o PSSC, para a área da física, o CBA, na química e o BSCS, na biologia. Os resultados desses projetos não atingiram os objetivos almejados (MATTHEWS, 1995).

Segundo Matthews (1994; 1995), dentre as justificativas encontradas para resultados tão aquém dos desejados, evidenciou-se a falta de identificação dos alunos com o empreendimento científico. A inserção da história e da filosofia da ciência, primeiramente intentada na década de 1960 pelo Project Physics Course de Harvard, surgiu como possível forma de explorar em sala de aula a verdadeira natureza da atividade científica e aproximar o aluno deste que é, de acordo com as teorias pós-positivistas, um empreendimento humano e social. Mas também houve problemas com a implementação desse projeto, que não encontrou professores suficientemente preparados para desenvolvê-lo.

Apesar das décadas já passadas, parece que ainda há uma longa distância a se percorrer, pois os objetivos de formar alunos capazes de compreender a ciência e seu valor na sociedade ainda não foram atingidos de forma satisfatória. Ocorre que o discurso empírico-indutivista ainda está arraigado no imaginário de cientistas e professores de ciências. A literatura especializada na área continua diagnosticando este equívoco e propondo abordagens que visam questionar certas imagens equivocadas do trabalho científico (ARRUDA; LABURÚ, 1998; GIL-PÉREZ et al, 2001; PRAIA et al, 2007), como se verá na próxima seção deste trabalho. Motivados por uma extensa revisão bibliográfica sobre a dificuldade latente que professores de ciências demonstram ao identificar e transmitir a natureza do trabalho científico, Gil-Pérez et al (2001) identificam sete concepções da ciência que, segundo as correntes epistemológicas contemporâneas, refletem erroneamente a atividade do cientista.

Há duas perguntas inevitáveis que emergem do exposto até aqui: como, com tantos anos de pesquisa, ainda não se observam os resultados de um ensino contextualizado histórica e filosoficamente? Por que o discurso empírico-indutivista da ciência ainda parece prevalecer entre cientistas, professores e estudantes? Para responder estas perguntas, deve-se voltar olhares ao outro empreendimento envolvido na polêmica: o educacional. Este é muito complexo, por englobar atores com diversas perspectivas e exigências quanto a ele. Seus elementos fundamentais são, além de professor e aluno, também a sociedade, os órgãos públicos e os próprios cientistas. De acordo com as necessidades destes três últimos grupos, surge a importância de se transformar e adaptar os conhecimentos produzidos na esfera científica, para que ele chegue ao aluno de forma a cumprir uma função social (CHEVALLARD, 1991).

Tradicionalmente, o meio de que se serve para levar até a sala de aula os conteúdos científicos designados socialmente como relevantes para o ensino neste ou naquele contexto são os manuais e livros didáticos. Eles são o reflexo das necessidades impostas pelo meio social em que se encontra o educacional (CHEVALLARD, 1991). Não obstante, ainda nos livros didáticos, se pode observar que certas características erroneamente atribuídas à ciência são recorrentemente por eles propagadas (ARRUDA; LABURÚ, 1998; FRANCISCO, 2005; EL-HANI et al, 2007).

É sobre essa divergência, entre o que se almeja academicamente e o que insiste em se reproduzir em livros didáticos e em sala de aula, que este trabalho se propõe a analisar. Em um primeiro momento,

debruça-se sobre essas imagens distorcidas da ciência, conforme levantadas no estudo de Gil-Pérez et al (2001), ilustrando com certos preceitos epistemológicos e exemplos históricos como elas são, de fato, deformadas, e mostrando como elas têm sido alvo frequente das pesquisas em educação em ciências.

O segundo momento descreve um instrumento de análise do empreendimento educacional, a Transposição Didática de Chevallard (1991) e as ressonâncias ainda atuais da transposição didática externa nos manuais didáticos. Essa análise é, então, seguida de suas interpretações no contexto brasileiro e de ensino de ciências. Dirigi-se a atenção para o fato de que a propagação de algumas das concepções de ciências deformadas segundo as epistemologias contemporâneas, tão estudadas no ambiente acadêmico educacional podem ser, direta ou indiretamente, frutos da tradição descontextualizadora exposta pela Transposição Didática. Volta-se, por fim, à figura do professor, cuja atuação mais importante acontece na etapa interna da transposição didática: como fazer para que ele esteja preparado para reconhecer e preencher as lacunas possivelmente existentes no manual didático?

1.3 TRABALHO CIENTÍFICO: CARACTERÍSTICAS E IMAGENS DEFORMADAS

Em um estudo bastante aprofundado da produção acadêmica em ensino de ciências e a partir de entrevistas com professores em *workshops*, Gil-Pérez et al (2001) levantaram sete concepções de ciências que, segundo as epistemologias contemporâneas, passam uma imagem errônea do trabalho científico. Essas visões estão intimamente ligadas à corrente empírico-indutivista, que, apesar de ultrapassada na esfera da filosofia da ciência, parece continuar arraigada no imaginário de professores, estudantes e mesmo cientistas.

De fato, o empirismo sofreu durante o século 20 fortes ataques às suas bases, especialmente quanto ao valor excessivo atribuído a procedimentos como a indução e a dedução e à sua forte ligação com a origem sensorial e atórica do conhecimento científico. Assim, no referido período, surgiram novas correntes que, apesar de dissonantes em variados pontos – que geraram grandes controvérsias, como as polêmicas acerca da ciência normal e da revolução científica de Kuhn, no Colóquio Internacional de Filosofia da Ciência de 1965, em Londres – também têm certo consenso quanto às características que atribuem ao trabalho científico (OSTERMANN, 1996).

Pela sua maior frequência na literatura, a primeira visão deformada da ciência assinalada pelos autores é a **concepção empírico-indutivista e ateórica**. Eles ainda apontam para o fato bastante paradoxal de que, apesar de ser a visão deformada mais frequentemente trabalhada pela literatura acadêmica de ensino de ciências, ela foi muito raramente citada pelos professores entrevistados. Os autores concluem que possivelmente ela ainda esteja fortemente enraizada nas mentes desses profissionais.

Essa visão retrata que o conhecimento científico tem uma forte ênfase na observação, que deve ser feita sem preconceitos, de forma neutra e sem uma teoria subjacente. Desta maneira, esse conhecimento, representado por afirmações universais, seria atingido pelo processo de indução. Em uma segunda etapa, munido das afirmações universais, o cientista poderia inferir previsões a partir de um processo denominado dedução.

Com base em Gil-Pérez et al (2001), alguns trabalhos tratam de desmistificar essa concepção de ciência, como Medeiros e Monteiro (2002), Delizoicov et al (2004), Oki e Moradillo (2008), Vilela-Ribeiro e Benite (2009).

Um episódio histórico, no âmbito dos estudos iniciais de Roentgen, pode ilustrar a incoerência de atribuir à ciência essa característica empírico-indutivista e ateórica. Roentgen, como muitos outros cientistas ao fim do século 19, estudava a ionização provocada pelas descargas em tubos de raios catódicos. O cientista observou que uma placa de platinocianeto de bário nas vizinhanças do experimento tornava-se luminescente. Àquela época, já se faziam muitos estudos sobre os raios catódicos e, apesar de não se conhecer profundamente sua natureza, sabia-se que eles não eram capazes de atravessar o vidro. Ciente de que não se tratava de uma consequência dos raios catódicos, Roentgen empreendeu uma série de experiências para a localização da fonte das tão poderosas novas radiações, que, mais tarde, foram denominadas de raios X (PEDUZZI, 2008).

Fortemente relacionada à imagem ateórica do conhecimento científico está a **imagem rígida (algorítmica, exata, infalível)** da ciência, que se baseia na existência de um conjunto de procedimentos que os cientistas seguem e que, invariavelmente, levam ao conhecimento. Esse algoritmo começa pela observação, também dita neutra e não influenciada pela teoria, sendo este um forte ponto de relacionamento entre esta imagem deformada e a empírico-indutivista e ateórica.

Este tipo de visão foi mais contundentemente criticado por Paul Feyerabend, em seu “*Contra o Método*” (1977). Para ele, e baseado fortemente na história, a ciência é uma atividade extremamente complexa para ser definida metodologicamente em apenas algumas seqüências de passos. Ele argumenta que, para fazer ciência – ou, mais especificamente, a física – o cientista deve estar familiarizado com os aspectos científicos com os quais vai trabalhar e, não, apenas com a alegada metodologia (CHALMERS, 1993). Assim, o aspecto central da visão de ciência de Feyerabend é o “anarquismo metodológico”, ou seja, a oposição a uma metodologia dominante, apontando para o fato de que existem, certamente, diversos métodos que podem ser atribuídos como científicos (REGNER, 1996).

Larry Laudan (1984), filósofo e colega de Feyerabend, defende de maneira menos taxativa que este e baseado na história da ciência, que a atividade científica é raramente feita através de uma única metodologia. Um exemplo bastante claro desta pluralidade de metodologias científicas reside na existência de pesquisas experimentais e teóricas em física.

O autor, então, salienta que

Pelo fato de que pode muito bem haver uma variedade de regras metodológicas que conduzem igualmente bem ao alcance de nossos valores cognitivos, segue que a coexistência de métodos não idênticos de pesquisa possa muito bem ser uma característica permanente da vida científica (LAUDAN, 1984, p. 36).

Moura e Silva (2008) desmistificam essa visão a partir do estudo da óptica newtoniana. Oki e Moradillo (2008) avaliam a possibilidade oferecida por uma disciplina da história da química de contra-exemplificar essa concepção e Vilela-Ribeiro e Benite (2009) investigam essa visão a partir de um núcleo de pesquisas em ensino de ciências. Os três trabalhos foram feitos no âmbito da formação inicial de professores.

A **visão aproblemática e ahistórica (portanto, dogmática e fechada)** da ciência seria a concepção que nega a importância dos problemas para o desenvolvimento da ciência, a evolução dos conceitos e mesmo as limitações do conhecimento. Para Gil-Pérez et al (2001), essa é uma característica errônea que vem sendo reforçada por omissão, pois nos manuais didáticos e nos discursos dos professores pouco se

menciona que problemas são, na realidade, parte intrínseca dos empreendimentos científicos. Borges (2002), utilizando o laboratório didático, Martins e Zanetic (2002), em um estudo histórico sobre o conceito de simultaneidade, e Briccia (2007), com a aplicação da história da termodinâmica no ensino básico, apontam para o caráter problemático da ciência.

Certas correntes epistemológicas, contudo, parecem colocar os problemas e suas resoluções como pilares centrais da atividade científica. Larry Laudan, por exemplo, dedica-se a compreender a ciência através da resolução de problemas, que ele classifica em empíricos e conceituais (PESA; OSTERMANN, 2002). Laudan (1984) entende que, ao longo do fazer científico, problemas surgem naturalmente, seja no nível factual, seja no nível metodológico. Para esse autor, uma característica essencial da escolha de teorias em ciência são as soluções desses problemas – que podem ser feitas, inclusive, a partir de valores compartilhados pela comunidade científica.

A física da segunda metade do século 19 provê ilustrações bastante claras da importância de problemas. Naquela época, surgiram muitos fenômenos cujas naturezas não se conseguia explicar, como o eletromagnetismo e a luminescência. Ainda, o caso dos espectros contínuos de radiação de corpos sólidos gerou fortes debates entre físicos experimentais e teóricos. Esse problema permeou muitas pesquisas. Apesar de não se reconhecer as causas do fenômeno, a espectroscopia foi utilizada e aprimorada. Kirchoff fez uso dela para observar o Sol e enunciar sobre sua composição, notando corretamente a existência de metais como o ferro, o magnésio, o cromo e o níquel (RON, 2001, apud PEDUZZI, 2008). As buscas pela compreensão desse fenômeno, que configurava um problema por não ter suas causas definidas, foi bastante fértil até a elucidação da sua natureza, no começo do século seguinte.

Há outra imagem deformada do trabalho científico que Gil-Pérez et al (2001) observaram em sua pesquisa, que se parece fortemente com a visão aproblemática e ahistórica, e que, para os autores, é de certa forma complementar a ela: **a concepção acumulativa de crescimento linear da ciência**. Afinal, os problemas têm papéis essenciais nas duas visões; esses papéis, no entanto, são diferenciados.

Enquanto que, na imagem aproblemática, os problemas têm certo caráter internalista – “*se refere à forma como se concebe a realização de uma dada investigação*” (p. 132) – o que rivaliza a concepção acumulativa é o caráter externalista desses problemas. A maneira simplista como se propaga a ciência não reflete que nela, certos

problemas têm a tendência de causar revoluções das mais variadas dimensões.

Retomando o exemplo da espectroscopia, a natureza desse fenômeno só pode ser desvendada no começo do século 20. Naquele momento, muitos problemas ainda sem solução foram se acumulando: quais as causas dos espectros, dos fenômenos de luminescência e das radiações X? Como explicar a radiação do corpo negro?

As determinações experimentais da função entre a frequência e a temperatura de um corpo negro, e sua discrepância com os cálculos teóricos, foi um dos problemas da segunda metade do século 19 que pediam por uma solução. O corpo teórico da física clássica – no caso, a termodinâmica e o eletromagnetismo – parecia não ter a capacidade de explicar o que os experimentos sistematicamente acusavam. Max Planck, que em sua tese de doutorado debruçou-se sobre a Segunda Lei da Termodinâmica, interessou-se pelo assunto. Apesar de as pesquisas de Kirchoff, Tyndall, Wien, Stefan e Boltzmann terem refinado o conhecimento sobre o corpo negro, a teoria que conseguiu explicar definitivamente a função entre frequência de radiação e temperatura veio com Planck, em 1900 – com a quantização da energia em processos envolvendo a interação da radiação com a matéria (PEDUZZI, 2008).

O que Planck sugeriu ter sido “*um ato de desespero*”, revelou-se frutífero na explicação não apenas da radiação do corpo negro, mas também por ensejar o desenvolvimento de um novo corpo teórico. Naquele momento histórico, a quantização da energia, com os trabalhos de Einstein, juntou-se à relatividade e ao modelo atômico de Bohr-Rutherford e consagrou uma nova física, que tinha capacidade explicativa de fenômenos como a espectroscopia, a radiação X, a luminescência e a radioatividade, que não podiam ser elucidados pela física clássica. Esse foi um período de revolução científica.

A epistemologia de Thomas Kuhn, disposta em seu livro sugestivamente denominado de “*A Estrutura das Revoluções Científicas*” (1978), é o exemplo mais forte de visão da ciência que se opõe exatamente à imagem acumulativa e de crescimento linear, refutada no exemplo histórico acima descrito. Para Kuhn (1978), os problemas, após diversas tentativas frustradas de resolução através do arsenal disponibilizado pelo corpo teórico vigente da ciência normal (paradigma), tornam-se anomalias. Quando novas hipóteses, que não se enquadrem naquele paradigma, surgem para a explicação desse fenômeno, passa-se por um período de revolução científica (OSTERMANN, 1996).

Alguns trabalhos no contexto brasileiro dedicam-se a desmistificar essa concepção de ciência. Medeiros e Monteiro (2002) e Silveira (2002) investigam nos livros didáticos de ciências, no que concerne a teoria copernicana, referências a essa visão distorcida. Delizoicov et al (2004) utilizam a história das teorias para o movimento do sangue no corpo humano. Silveira et al (2009) fazem uma inserção da história do movimento relativo na formação em física. As pesquisas já mencionadas de Briccia (2007) e de Vilela-Ribeiro e Benite (2009) trabalham também com essa imagem deformada.

Essas duas últimas concepções – a problemática e acumulativa – têm, como uma de suas características mais expressiva, a omissão das limitações intrínsecas do conhecimento científico, o que acaba refletindo na idéia (errônea) de que este conhecimento está acabado. Entretanto, como bem explora Weber (1968, p. 29)

Qual é, em verdade, o destino ou, melhor, a significação, em sentido muito especial, de que está revestido todo o trabalho científico, tal como, aliás, todos os outros elementos da civilização sujeitos à mesma lei? É o de que, toda obra científica “acabada” não tem outro sentido senão o de fazer surgirem novas “indagações”: ela pede, portanto, que seja “ultrapassada” e envelheça. Quem pretenda servir à ciência deve resignar-se a tal destino. [...] Repito, entretanto, que na esfera da ciência, não só nosso destino, mas também nosso objetivo é o de nos vermos, um dia, ultrapassados. Não nos é possível concluir um trabalho sem esperar, ao mesmo tempo, que outros avancem ainda mais. E, em princípio, esse progresso se prolongará ao infinito.

Adentrando a análise de outra visão deformada do trabalho científico segundo Gil-Pérez et al (2001), aborda-se agora a **imagem individualista e elitista**, que ignora o caráter coletivo da ciência. Muitas vezes, atribuem-se “descobertas” científicas a indivíduos extraordinariamente dotados e capacitados, diferentemente da grande maioria das pessoas, que conseguiram fazê-las sozinhos, em lampejos de genialidade. Delizoicov et al (2004) e Moura e Silva (2008) sugerem maneiras de se tratar essa concepção errônea em sala de aula.

O fato de que conceitos sejam muito frequentemente associados a um único cientista nos manuais escolares, além da recorrência

cotidiana de premiações – como o próprio Prêmio Nobel – a um cientista específico em nome de toda uma linha de pesquisa científica, acabam por reforçar essa visão. Mas sabe-se, olhando para a história, e para a ciência contemporânea, que a ciência é uma atividade intrinsecamente coletiva. Desde a instituição do Prêmio Nobel, tem sido praxe, na Conferência Nobel do laureado, a referência a trabalhos de outros cientistas.¹

No episódio histórico da descoberta dos elétrons, pode-se utilizar a Conferência Nobel de J. J. Thomson (THOMSON, 1967) para ilustrar a dinâmica de uma ciência coletiva. O cientista não descobriu o elétron isolado em seu laboratório, mas teve como referências experimentos como os de William Crookes, Jean Perrin, Heinrich Hertz, C. T. R. Wilson e outros. Já no episódio da radiação do corpo negro, Planck deu sua contribuição em pesquisas que já vinham sendo feitas por Kirchoff, Wien, Stefan e Boltzmann, entre muitos outros.

Longino (1990) cita os argumentos da filósofa Marjorie Grene na defesa da ciência como atividade social. Primeiramente, os sujeitos envolvidos com a atividade científica dependem uns dos outros (discutem e avaliam idéias, compartilham instrumentos, técnicas etc). Em segundo lugar, ela menciona que há a necessidade de iniciação no meio científico, pois uma pessoa não pode se declarar cientista a bel-prazer – e este aspecto educacional é, certamente, social. Por último, aqueles que praticam ciências são eles mesmos membros de uma sociedade, e essa vida social tem implicações diretas em sua atividade profissional – no caso, científica. Longino (1990, p. 67), compreende que “*a objetividade da pesquisa científica é uma consequência de ela ser um empreendimento social e, não, individual.*”

A sexta imagem deformada do trabalho científico estudada por Gil-Pérez et al (2001) é a **concepção exclusivamente analítica** da atividade científica. Ela transmite a idéia de que a atividade científica caminha na direção das suas especificidades. A despeito de ter sido a visão menos freqüente no estudo dos autores, essa concepção tem implicações epistemológicas bastante profundas, por negar um dos aspectos mais fundamentais que reinam no imaginário dos residentes do empreendimento científico, e que motivam suas pesquisas: de procurar, na natureza, por simetrias e conceitos que eventualmente permitam a construção de teorias unificadoras.

Kuhn (1977) lista certos critérios objetivos utilizados pela comunidade científica na escolha de uma teoria. Aqui, dirige-se especial

¹ www.nobelprize.org

atenção a dois deles: sua consistência e seu longo alcance. Consistência não apenas em relação a aspectos internos da teoria, mas também com outras teorias já aceitas. Longo alcance, pois é bastante desejável que uma teoria, apesar de ter sido construída no seio de alguns poucos problemas específicos, seja capaz de explicar uma variedade cada vez maior de fenômenos em seu domínio de validade. Assim, na visão de Kuhn (1977), há, na atividade científica, um comportamento contrário à pesquisa pontual – apesar de esses critérios, para o filósofo, guardarem características subjetivas.

A história da ciência é rica ao ilustrar a busca por coerências de certos conceitos com outros do corpo teórico. Cabe citar aqui a teoria de Maxwell, que unifica eletricidade e magnetismo, e a de Newton, que propõe a unidade entre as físicas terrestre e celeste (PEDUZZI, 2008).

A última das sete visões deformadas do trabalho científico a que se faz referência é a **concepção de que a ciência é uma atividade socialmente neutra**. A ciência pode ser uma esfera de produção de conhecimento autônoma, mas não está isenta de influências de outras, como a tecnologia e a ética, por exemplo. Na percepção de Laudan (1984), quando problemas metodológicos são resolvidos no nível axiológico, valores tecnológicos e sociais entram em jogo na escolha de uma teoria científica.

Essa alegada neutralidade da ciência foi fortemente defendida pelos próprios cientistas durante boa parte do século 20. Segundo Solomon (1993), pelo fato de que a ciência era supostamente feita a partir de experimentos desinteressados e argumentação lógica, os cientistas a classificavam como uma moralidade substituta. Ou seja, os cientistas acreditavam na imparcialidade moral da ciência.

É seguramente claro que boa parte desta faceta tenha caído por terra com o advento da Segunda Guerra Mundial, especialmente pela óbvia imigração de cientistas da Europa para os Estados Unidos, para trabalhar no Projeto Manhattan, que culminou com a bomba atômica. Não mais era natural imaginar que as pesquisas desses cientistas eram, de fato, ‘desinteressadas’ (SOLOMON, 1993).

Mas não é necessário se remeter a exemplos tão catastróficos quanto o do Projeto Manhattan para observar que as demandas sociais exercem grande influência na esfera científica. Longino (1990) refere-se aos trabalhos de historiadores da ciência, como os de Dijksterhuis e Westfall, ao citar o mecanicismo dos séculos 16 e 17 como um produto das exigências fundamentais das sociedades européias dos séculos 15 e 16. Os trabalhos dos artesãos e suas crescentes relevâncias para o desenvolvimento econômico, à época, necessitavam de uma elucidação

teórica de forma a fazer previsões e evitar grandes acidentes. Essas necessidades fertilizaram o campo científico e geraram a concepção mecanicista da natureza.

Os já mencionados trabalhos de Silveira (2002), Delizoicov et al (2004) e Vilela-Ribeiro e Benite (2009) também trabalham sobre essas imagens deformadas do trabalho científico. Francisco (2005) faz uma abordagem da genética a partir dos estudos sociais da ciência. Magalhães e Tenreiro-Vieira (2006) trabalham sob uma perspectiva CTS na formação de professores. Santos Neto (2007) propõe maneiras de se contextualizar social e tecnologicamente a física de partículas no ensino médio.

Uma vez consideradas essas sete concepções errôneas acerca do trabalho científico, surge uma pergunta inevitável: de que forma se pode caracterizar melhor a ciência? Certamente, caracterizar esse rico empreendimento apenas pela negativa não é suficiente. A resposta de Gil-Pérez et al (2001) vem na forma de cinco características que os autores encontraram como compartilhadas entre as concepções pós-positivistas da ciência. Seriam elas: a recusa de um Método Científico (havendo uma multiplicidade metodológica), a recusa da origem sensorial do conhecimento, a investigação pelo pensamento divergente, a busca pela coerência global e a associação do empreendimento científico a outras esferas, como a social e a tecnológica.

Ao analisar cada uma dessas características, observa-se que elas rivalizam intrinsecamente com uma ou algumas das sete concepções distorcidas por eles levantadas. A **recusa de um Método Científico** vem contra a imagem algorítmica e infalível da ciência, pois prega a existência e a importância de uma variedade metodológica para o alcance de conhecimentos científicos. A **recusa da origem sensorial** do conhecimento rivaliza com a concepção empírico-indutivista, cuja primeira premissa é a observação neutra e sem preconceitos dos fenômenos naturais. A **associação do empreendimento científico a outras esferas, como a social e a tecnológica** vai contra a concepção deformada de que a ciência é socialmente neutra.

Rivalizando, simultaneamente, com quatro imagens deformadas do trabalho científico está **a investigação ao pensamento divergente**. Ela vai contra as imagens atórica, ahistórica, algorítmica e individualista da ciência. A investigação do pensamento divergente, conforme caracterizada pelos autores, é uma dinâmica diferenciada entre hipóteses e evidências.

Assim, quando uma hipótese é lançada para a explicação de um problema, apoiada em um corpo de evidências particular, ela é feita

baseada em conhecimentos prévios – científicos ou não – o que vai contra as visões ateuórica e ahistórica da ciência. A validade dessas hipóteses passa por rigorosos testes, que não são feitos dentro de uma metodologia rígida, mas de maneiras invariavelmente mais complexas. Assim, não se pode alegar ser esse processo algo algorítmico ou rígido, dada a complexidade essencial dos testes feitos.

Por fim, pode-se dizer que a característica de investigação ao pensamento divergente vai de encontro à imagem elitista e individualista, pois esses testes rigorosos são conduzidos por diversos outros cientistas, membros da comunidade científica ocupada em resolver os problemas. Difícilmente se pode esperar que o indivíduo que lançou a hipótese empreenda a investigação do pensamento divergente sozinho, sem a avaliação sistemática de seus pares. Essa faceta comunitária da ciência é necessária, sob o ponto de vista de Longino (1990), para que se atribua solidez e objetividade à uma teoria científica.

Laudan (1984) fornece uma interpretação para o processo de consolidação de uma hipótese em teoria à luz da estrutura hierárquica dos debates científicos. Isto pode esclarecer o nível de complexidade a que Gil-Pérez et al (2001) se referem quando dissertam sobre a investigação ao pensamento divergente. Os problemas são resolvidos em diferentes níveis, dependendo de suas origens. Assim, em última instância, os valores compartilhados pela comunidade científica podem ser os emissores de veredicto em favor de uma teoria, em detrimento de outra. Os problemas na dinâmica entre hipóteses e evidências, que estariam no nível metodológico, para Laudan (1984), só podem ser resolvidos no nível axiológico.

Quanto à **busca pela coerência global** como uma das características do trabalho científico, Gil-Pérez et al (2001) explicam que uma teoria não pode se restringir a explicar apenas as evidências de um único procedimento experimental, sendo esta uma interpretação muitíssimo simplista da atividade. A comunidade científica é exigente e não aceita teorias meramente por sua capacidade de dar conta de certos eventos experimentais. A dúvida posta sobre as hipóteses lançadas à luz de certos fenômenos empíricos leva os cientistas a buscarem evidências e as testarem em uma grande diversidade de circunstâncias dentro daquele domínio, descobrindo se ela apresenta uma coerência global com o corpo de conhecimentos já aceitos. Essa idéia é um contra-exemplo da imagem exclusivamente analítica da ciência.

Desde que a extensa pesquisa de Gil-Pérez et al (2001) foi publicada, muitos investigadores utilizaram-na como instrumento de análise ou referência para suas próprias pesquisas. Eles almejam e

defendem um ensino de ciências que seja capaz de transmitir o espírito da atividade científica mais fidedignamente, justificando que esta é uma maneira de aproximar alunos da ciência (DUARTE, 2004; EL-HANI et al, 2004; EL-HANI et al, 2007; PRAIA et al, 2007; ROSA; MARTINS, 2007; ALENCAR; CASTRO, 2008; CHINELLI et al, 2008; FORATO et al, 2008; CHINELLI; AGUIAR, 2009; GALVÃO; PRAIA, 2009; MIRANDA et al, 2009; REBELLO; RAMOS, 2009; TEIXEIRA et al, 2009). A pressão por uma nova concepção de ensino de ciências, mais contextualizada e esclarecedora dos objetivos da atividade científica, parece ganhar cada vez mais força no cenário educacional.

1.4 A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DE CHEVALLARD (1991)

“*A Transposição Didática: do Saber Sábio ao Saber Ensinado*”, de Yves Chevallard, constitui uma das análises didáticas mais panorâmicas do empreendimento educacional. Quando foi publicado, em 1985, o livro era composto de duas seções diferentes. A primeira em disposição, cujo original é de 1982, intitulada “*Por que a Transposição Didática?*” e redigida para o Seminário de Didática e Pedagogia das Matemáticas na Universidade Científica e Médica de Grenoble, é a adaptação textual da segunda seção em disposição no livro. Esta, o *corpus* do livro, foi redigida em 1980, sob a forma de notas preparatórias de aula, destinadas à 1ª Escola de Verão de Didática das Matemáticas.

A obra que se utiliza como referência neste trabalho, editada em 1991, é composta, além das seções acima descritas, também de um posfácio – feito por Chevallard em resposta às críticas que recebeu por ocasião da primeira edição – e de “*Um exemplo de análise da transposição didática*”, em que ele, com a colaboração de Marie-Alberte Johsua, descreve as transformações que sofreu a noção de distância desde sua produção científica até sua inserção nas salas de aula francesas.

Como a teoria que fundamenta a Transposição Didática está disposta nas duas primeiras seções, este trabalho a elas se atém. Para facilitar a leitura que segue, alguns esclarecimentos devem ser feitos. Quando se faz referência à primeira seção, fala-se da adaptação textual, feita em 1982 – que é a primeira em disposição no livro. Do mesmo modo, quando se faz referência à segunda seção, trata-se dos conceitos expostos nas notas preparatórias de aula, de 1980. Um outro aspecto relevante é a referência sistemática ao ensino de matemática. Por essa ser a área de especialidade de Chevallard, é sobre ela que ele faz sua

análise. Questões quanto à pertinência de se utilizar este instrumento em outras áreas científicas serão discutidas mais adiante. Por último, o termo “Transposição Didática” foi emprestado da obra “*Les temps des études*” (1975), do sociólogo Michel Verret. Na obra de Chevallard, algumas características do trabalho de Verret são mantidas, como será também visto mais à frente.

Quanto à redação do *corpus* do livro, em notas preparatórias de aula divididas em oito capítulos, o autor justifica esta escolha logo ao início da primeira seção. Para ele, desta maneira, é possível ensinar um debate mais científico sobre o que seria essa didática e o fenômeno de transposição associado a ela. Ele, então, posiciona-se quanto ao que acredita ser ciência:

Toda ciência deve assumir, como condição primária, de se querer conhecer um *objeto*, um objeto real, que tenha uma existência independente do olhar que o transformará em objeto de conhecimento. Posição materialista minimalista. No mesmo sentido, deve-se supor nesse objeto um *determinismo* próprio, ‘uma *necessidade* que a ciência desejará descobrir’ (CHEVALLARD, 1991, p. 12, grifos do autor).

Assim, ele defende que a didática das matemáticas é uma ciência, cujo objeto seria aquele construído no sistema didático, ou seja, nas relações interativas entre professor, alunos e saber matemático.

Chevallard (1991) ressalta que, curiosamente, no que dizia respeito aos estudos pedagógicos de matemática até então, muito se concentrou nas relações entre professor e alunos, relegando-se o terceiro elemento do sistema didático, o saber². E, na análise feita pelo autor, o papel desse saber é essencial para a compreensão da dinâmica didática da matemática.

Ele classifica, então, o saber em três diferentes categorias: o **saber sábio**, que reside e transita na esfera científica; o **saber a ensinar**, constante nos manuais didáticos, e o **saber ensinado**, que surge nas salas de aula, baseado no saber a ensinar e influenciado por outras necessidade, que, mais à frente, serão descritas.

² O substantivo *savoir*, em francês, pode ser definido como ensemble de *connaissance*, ou conjunto de conhecimentos. Na bibliografia brasileira acerca da Transposição Didática, escolheu-se

Para que o ensino de tal elemento do saber seja, ao menos, possível, esse elemento deverá ter sido submetido a certas deformações que o tornarão apto a ser ensinado. O saber-tal-como-é-ensinado, o saber ensinado, é necessariamente diferente do saber-inicialmente-designado-a-ser-ensinado, o saber a ensinar (CHEVALLARD, 1991, p. 15).

É interessante salientar que, na segunda seção, escrita dois anos antes, Chevallard não utiliza esses termos – “saber sábio”, “saber a ensinar”, “saber ensinado” – para a descrição dos conhecimentos produtos da transposição. Mas a idéia central, de que conhecimentos sofrem transformações, adaptações e deformações, já estava bastante consolidada. Para o autor, a transformação que sofre um conceito em sua passagem do meio científico ao escolar vai muito além de uma simples mudança. Há fatores diversos que influenciam na direção do acontecimento. Na nota de aula 1.4, ele esquematiza as transformações.

A passagem de um conteúdo de saber preciso a uma versão didática deste objeto de saber pode ser chamada justamente de “transposição didática *stricto sensu*”. Mas o estudo científico do processo de transposição didática (que é uma dimensão fundamental da didática das matemáticas) supõe a consideração da transposição didática *lato sensu*, representada pelo esquema → **objeto do saber** → **objeto a ensinar** → **objeto de ensino** (CHEVALLARD, 1991, p. 39, grifo nosso).

Para ilustrar sua posição, em defesa da existência de transformações nos saberes, Chevallard traz alguns exemplos da sociologia e da matemática. No que diz respeito a transposições didáticas mais contemporâneas, ele cita a reforma da matemática moderna, que aconteceu a partir dos anos 1950 e que, na década de 1970, entrou no domínio educacional. Na passagem da teoria de conjuntos dos matemáticos à teoria de conjuntos destinada à escola primária, surgiram novos objetos do saber para acatar as exigências da transposição didática.

A transposição didática, então, resulta em efeitos ora espetaculares, como a criação de novos objetos de saber, ora disfuncionais, como as substituições patológicas de saberes. Para a essencial distinção dessas transformações, ele insere o conceito de

vigilância epistemológica, que tem um papel chave no estudo do fenômeno de transposição didática. É esta vigilância epistemológica, atuada pelo didata – e, não, pelo professor – que permitirá a identificação da boa transposição didática. Ela tem o poder de questionar especificamente quanto à adequação do saber que será ensinado com outros elementos influentes no sistema educacional. E este exercício permite que se faça a análise científica desse sistema e, portanto, a transposição didática.

Entram em questão duas figuras, recorrentemente mencionadas pelo autor: o professor e o didata. Apesar de, em uma primeira interpretação, se imaginar que sejam o mesmo ator, eles são, para Chevallard, partes intrínsecas de domínios diferentes. Enquanto que o professor é parte fundamental do sistema didático (professor – alunos – saberes), o didata, apesar de possivelmente inserido no sistema de ensino, consegue ter um panorama geral de todo o meio que influencia a transposição didática, conseguindo, portanto, analisá-lo.

Há de se esclarecer mais um ponto: o sistema de ensino é aquele que engloba, além dos diversos sistemas didáticos, um conjunto de outros dispositivos estruturais que regulam o funcionamento didático e nele intervêm em variados níveis. Esse sistema está inserido em um meio mais geral, que se pode inferir ser a sociedade.

Voltando à diferença entre didata e professor, um ponto essencial de divergência entre as duas figuras é a capacidade de enxergar e compreender o fenômeno da transposição didática. Chevallard é enfático neste ponto, que ele frisa muitas vezes nas duas seções do livro. “*Sob a aparência de uma escolha teórica, o professor não escolhe, pois ele não tem possibilidades de escolha*” (Chevallard, 1991, p. 19). Ele segue afirmando que, em todo o processo de transposição didática, o professor dele tem consciência apenas no momento da redação do texto do saber, ou seja, quando prepara sua aula. É natural e necessário, para o autor, que a totalidade dos sujeitos que produzem o conhecimento escolar não enxergue claramente o processo de transposição didática. Segundo ele, para o professor, sua “ignorância” permite que ele possa acreditar na cientificidade do assunto que ensina, no ambiente didático.

“*Ora, preparar uma aula é, sem dúvida, trabalhar uma transposição didática (ou, ainda, trabalhar em uma transposição didática) e, não, fazer uma transposição didática*” (Chevallard, 1991, p. 18, grifos do autor). No entanto, a transposição didática extrapola esse momento singular; esse momento singular é, de fato, uma das diversas

fases do fenômeno. O fenômeno de transposição didática se inicia muito antes de chegar ao professor, conforme será descrito a seguir.

Como já foi mencionado, o saber ensinado na sala de aula é o produto de sucessivas transformações, adaptações e deformações daquele produzido na esfera científica. No esquema abaixo, tem-se um retrato bastante amplo do que Chevallard analisou em relação a essas transformações.



Figura 1: esquema da transposição didática lato sensu (CHEVALLARD, 1991)

No que se refere a transposição didática externa – ou seja, quando o saber sábio se transforma em saber a ensinar, ou, em outras palavras, quando o conteúdo científico se transforma em conteúdo científico de livros didáticos –, os sujeitos agindo diretamente para que este fenômeno aconteça pertencem ao sistema de ensino subtraído do sistema didático, ou seja, órgãos políticos, organizadores de currículos, escritores de livros didáticos, a sociedade em geral e, também, os cientistas. Professor e aluno não pertencem a este grupo, que Chevallard intitulou de *noosfera*.

Algumas questões emergem quanto a essa etapa do processo de transposição didática. A primeira tem relação à escolha dos conteúdos. Quem os escolhe e com que pressupostos? A resposta as perguntas é a noosfera. Nela, decidem-se quais são os conteúdos científicos que serão ensinados com base nas necessidades sociais postas naquele contexto. Essa não é uma tarefa simples, nem tampouco fácil. É necessário que todos os atores nessa esfera – de grande pluralidade de expectativas para o ensino de ciências – entrem em certo acordo, alcancem um certo nível de equilíbrio para que a transposição didática comece a acontecer. A pergunta “*Por que a Transposição Didática?*”, Chevallard (1991, p. 22) então responde: “*Pois o funcionamento didático do saber é diferente do funcionamento sábio, pois há dois regimes do saber interrelacionados, mas, no entanto, não superponíveis*”. Ou seja, o conteúdo presente nos livros didáticos reflete não apenas o conteúdo científico, mas, também, as demandas sociais do meio onde ele será distribuído.

Mas não basta a máxima da boa função social de certos conceitos para que eles se transponham em saberes a ensinar. Há conceitos científicos que jamais chegam ao sistema de ensino por não terem algumas características que os permitiriam se tornar objetos didáticos. Essas características foram descritas por Michel Verret; Chevallard observou que elas se aplicavam à escolha de conteúdos didáticos matemáticos.

Uma transmissão escolar burocrática supõe, quanto ao saber:

1° - a divisão da prática teórica em campos de saber delimitados dando lugar às práticas de aprendizagem especializadas – isto é, a dessincretização do saber.

2° - em cada uma dessas práticas, a separação do saber e da pessoa – isto é, a despersonalização do saber.

3° - a programação das aprendizagens e dos controles seguidos de sequências racionais, que permitam uma aquisição progressiva das especialidades – isto é, a programabilidade da aquisição do saber.

Ela supõe quanto à transmissão:

1° - a definição explícita, em compreensão e extensão, do saber a transmitir – isto é, a publicidade do saber.

2° - o controle regulado das aprendizagens dos saberes, seguido de procedimentos de verificação que autorizam a certificação das especialidades – isto é, o controle social de aprendizagem” (Verret, 1975, apud Chevallard, 1991).

Para Chevallard, assim que um conteúdo científico é textualizado, começa a ser satisfeito cada um desses processos, ou seja, a dessincretização, a despersonalização, a programabilidade de aquisição, a publicidade e o controle social de aprendizagem desse saber em transformação. Aprofundando-se algumas dessas noções, trata-se aqui, especialmente, da dessincretização e da despersonalização do saber.

Para que se possa explicitar um conhecimento discursivamente, é exigido que haja uma “*delimitação de saberes parciais, cada um se exprimindo em seu discurso autônomo (fictício)*” (pp. 58 – 59), cujo produto é a dessincretização do saber. O autor dos manuais não

apresenta praticamente nunca a consciência desse processo, apesar de frequentemente conhecer as delimitações dos saberes que ele textualizou, justamente pelos contratos do sistema didático, ou seja, as necessidades impostas pelo meio.

No que se trata da despersonalização, para o autor, ela acontece com a textualização. Mesmo o produtor de um certo conhecimento, ao comunicá-lo textualmente, submete o saber a esse processo. Sua utilidade é, exatamente, permitir que outros utilizem desse conhecimento para continuar fazendo pesquisas, sendo uma condição essencial para a produção social de conhecimentos. Ou seja, a despersonalização começa a acontecer antes mesmo da transposição didática, em um conjunto de normas específico da comunidade científica. Na esfera educacional, Chevallard defende que a despersonalização permite a maior publicidade do saber. A objetivação almejada pela textualização do saber exige essa despersonalização, e esta última, por sua vez, permite o controle social de aprendizagem.

A textualização desse saber ainda implica em outro processo de transformação que não é primariamente listado por Chevallard, mas que, de certa maneira, abarca tanto a dessincretização, quanto a despersonalização: a descontextualização. Ela seria a exclusão das problemáticas que dão ao saber sábio sentido completo, como efeito epistemológico da dessincretização dos saberes. O autor aprofunda as justificativas de sua relevância na primeira seção defendendo que o saber que chega ao sistema didático tem objetivos diferenciados daqueles do saber sábio, devendo ser compatível com esse novo meio. Assim,

O saber que a transposição didática produz será então um saber exilado de suas origens e recortado de sua produção histórica na esfera do saber sábio; legitimando-se, como saber ensinado, por ser atemporal e não local, e não precisando se legitimar recorrendo à autoridade de um produtor, qualquer seja ele. [...] O saber ensinado supõe um processo de naturalização, que lhe confere a evidência incontestável das coisas naturais (CHEVALLARD, 1991, p. 17).

Os três processos acima descritos – dessincretização, despersonalização e descontextualização – são típicos da transposição didática externa; assim, o livro didático, produto dessa etapa, já apresenta os saberes científicos, escolhidos pela noosfera de maneira a

cumprir uma função social, fora de seus contextos científicos e sociais e desligados daqueles que o produziram. Ele chega ao sistema didático com outra face, e sobre ela se operará a transposição didática interna.

Não se pode discorrer tanto sobre essa etapa quanto foi tecido sobre a externa. Dentro da sala de aula, as influências dos atores externos ao sistema didático se limitam ao livro e às pressões que esse grupo pode exercer sobre o professor. A dinâmica que se processará entre professor, alunos e o saber a ensinar, produzindo, então, o saber ensinado, não pode sequer ser completamente analisada por um didata.

A figura do professor agora toma importância sem precedentes na etapa externa. A ele é permitida uma criatividade didática, isto é, a possibilidade de ele mesmo adicionar nuances ao conteúdo conforme enxerga as necessidades do meio e conhece seus alunos. O que é certo, nesse momento, é que há novamente uma transposição didática e que é impossível que se ensine o saber estritamente tal qual ele está disposto no livro didático. Apesar disso, também é certo que, dentro da sala de aula, inúmeras demandas sociais continuam sendo satisfeitas – pelos fatos de a aula se basear predominantemente no livro didático e de que professores e alunos são, eles mesmos, partes do sistema educacional, que tem objetivos explícitos para esse empreendimento.

Não se compreende o que se passa no interior do sistema didático se não se levar em conta seu exterior. O sistema didático é um sistema aberto. Sua sobrevivência supõe sua compatibilização com seu meio. Ela lhe exige que responda às demandas que acompanham e justificam o projeto social, do qual ele deve ser a atualização (CHEVALLARD, 1991, p. 16).

O fato de que o ensino de matemática é um empreendimento social, e que só acontece quando há equilíbrio em todos os sistemas constituintes desse meio, traz um aspecto bastante novo àqueles que só o enxergavam nos limites da sala de aula. Essa é outra das grandes contribuições da análise de Chevallard: apontar que o processo de ensino não é restrito às fronteiras escolares, e que quase tudo do que chega em sala de aula é produto de questões externas muito mais complexas do que se pode imaginar.

O esquema disposto na figura 1 foi utilizado muitas vezes para retratar o processo de transposição didática. Contudo, dados os detalhes até aqui expostos, é conveniente que se adicione novas características àquele que é, de fato, um reflexo muito simplista da teoria descrita tão

ricamente por Chevallard. A figura 2 é a complementação da figura 1, onde foram adicionados meios e processos ao longo das etapas da transposição didática.

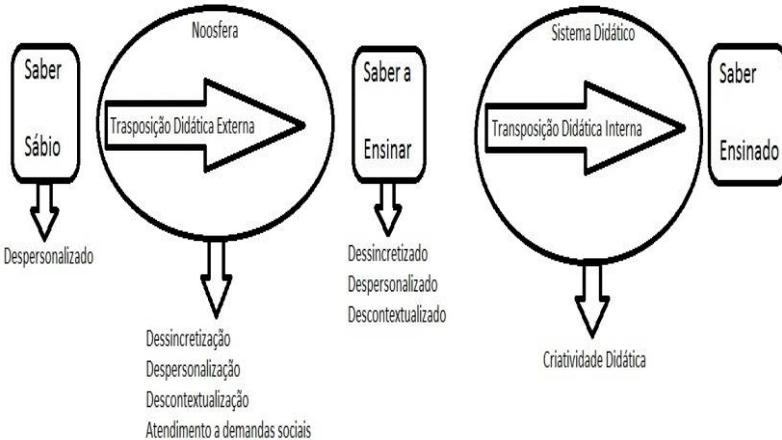


Figura 2: A Transposição Didática de Chevallard (1991).

1.5 ALGUNS EFEITOS DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA EXTERNA

Talvez pelo fato de proporcionar uma elucidação sem precedentes quanto às mudanças que sofrem os saberes até chegarem à escola, a transposição didática tenha sido bastante utilizada em pesquisas na educação científica brasileira. Nesta seção, empreende-se um levantamento bibliográfico sobre o que vem sendo dito sobre ela e como ela tem sido utilizada.

Há de se fazer uma ressalva essencial. Existem duas maneiras com as quais vem se tratando a temática. Uma delas é enxergá-la apenas como um fenômeno, o fenômeno das transformações dos saberes até chegarem à sala de aula. Trabalhos como Monteiro Júnior e Medeiros (1998), Machado (2000), Ricardo et al (2003), Manachine et al (2006) e Amaral et al (2009) se referem à transposição didática desta maneira, e não fazem referência ao ponto de vista de Chevallard. Um segundo grupo de pesquisas, apesar de fazer referência ao trabalho do didata

francês, também trata a transposição didática apenas como um fenômeno (PIETROCOLA, 1999; PFUETZENREITER, 2003; PIETROCOLA et al, 2003; SANTOS, 2004).

Há uma outra ótica permeando os trabalhos nacionais: levar em conta a Transposição Didática estritamente como descrita por Chevallard, para fins de análise dos processos de transformação de saberes ocorrentes na educação brasileira ou para fins de discussão sobre suas pertinências e inconveniências. Assim o fazem trabalhos como os de Lopes (1997), Alves Filho (2000a, 2000b), Lima-Tavares e El-Hani (2001), Marandino (2004), Ricardo e Zylbersztajn (2004), Brockington e Pietrocola (2005), Siqueira (2006) e Krapas e Silva (2008). Em todos esses trabalhos, há sempre uma descrição mais detalhada da análise de Chevallard.

De fato, Marandino (2004) já aponta para a diferença entre as concepções de transposição didática – o fenômeno ou conceito referente às transformações do saber que chega à escola – e da Transposição Didática – teoria construída por Chevallard para a análise didática da matemática. Mas qual a relevância de se distinguir o conceito da teoria?

A transposição didática pode ser tratada ordinariamente como um fenômeno, que, apesar de ter sido primeiramente analisado na matemática, encontra fortes ressonâncias no ensino de outras ciências. Pode-se ver também na física, na química e na biologia que o conhecimento produzido cientificamente é bastante diferenciado do conhecimento disposto nos livros didáticos, que, por sua vez, é diferente do conhecimento ensinado nas salas de aula. Também é possível notar nessas outras ciências que há um grupo externo às escolas que influencia nas escolhas dos conteúdos lá ensinados. Sendo esses, talvez, os conceitos principais da Teoria da Transposição Didática, passou-se a utilizar a nomenclatura transposição didática para designar o processo em linhas mais gerais.

Porém, o próprio Chevallard (1991) ressalta a importância de se questionar a pertinência de se estender sua análise a outras disciplinas, já no início da primeira seção de seu livro. A teoria da Transposição Didática é, como já mencionado, uma análise didática da matemática, e isto é frisado por seu autor. Muito detalhada, ela é a descrição da transformação dos saberes dessa disciplina na conjuntura educacional francesa anterior à década de 1980. Apesar das paridades que eventualmente são encontradas entre aquele contexto e o brasileiro atual, deve-se tomar certos cuidados e não utilizar a Teoria acriticamente.

Mesmo na França, o didata enfrentou sérias críticas. Caillot (1996) introduz seu trabalho enfatizando que, se a Transposição

Didática for de fato uma teoria, como diz Chevallard e outros, ela deve ter um poder explicativo global, ou seja, deve poder analisar as transposições didáticas de todos os tipos de saberes. Entretanto, segundo o autor, uma série de críticas à análise do matemático seguiu a publicação do livro, e por ele são listadas. No âmbito da física, Martinand (1982, 1986, apud Caillot, 1996) infere que conhecimentos denominados por ele de *práticas sociais de referência* têm papel tão importante quanto o saber sábio na constituição dos saberes a ensinar e ensinado. No ensino de ciências sociais como história e geografia, o trabalho de Audigier, Crémieux e Tutiaux-Guillon (1994, apud CAILLOT, 1996) se destaca, afirmando que nessas disciplinas, o saber sábio é o fruto de diversas interpretações, isto é, há uma variedade de saberes sábios que devem ser transpostos, e a principal premissa seria não propagar o que seria histórica ou geograficamente falso. Caillot (1996) ainda menciona trabalhos que contestam a Transposição Didática para disciplinas de línguas e profissionalizantes.

No contexto brasileiro, ressalvas acerca de certos pontos da Transposição Didática também foram feitas. Lopes (1997) pondera que o termo “transposição didática” não é apropriado para o tipo de educação necessária em ciências, por ser muito facilmente associado a termos como reprodução e transporte. Ela reflete que o termo mediação didática é mais apropriado para os objetivos educacionais atuais, por seu significado dialético de *“processo de constituição de uma realidade através de mediações contraditórias, de relações complexas, não imediatas, com um profundo sentido na dialogia”* (p. 564). O caminho correto para o rompimento com o senso comum, necessário em ciências e na aprendizagem científica, passa pela dialogicidade, pela confrontação de idéias, e, não, pela recorrência a metáforas e analogias, que podem gerar imagens distorcidas da ciência.

Marandino (2004) faz uma análise do que seria uma transposição didática dos conhecimentos biológicos com fins expositivos, nos museus de ciências. Ela observa que, nesses casos, outros saberes, além dos científicos, estão envolvidos. A escolha do que e como expor não é feita somente baseada na esfera sábia, mas toma emprestado conhecimentos de outras áreas.

Ricardo e Zylbersztajn (2004), ao trabalharem com os pressupostos almejados pelos PCN, lembram que, para a formação de competências, é necessário que o processo de ensino-aprendizagem continue além da escola. Desta maneira, é essencial que o ensino científico naquele ambiente proveja meios para que o aluno continue se relacionando com o saber, mesmo não mais se relacionando com o

professor. Eles mencionam também a relevância das já citadas *práticas sociais de referência* para esse “continuar aprendendo”.

Krapas e Silva (2008) apontam que a propagação da polissemia do conceito físico de campo no ensino médio pode ser diagnosticada com a utilização da Transposição Didática. Isso se dá pela tradição descontextualizadora do ensino de física, que, ao exilar o conceito de suas origens, provoca uma dificuldade de sua aprendizagem. E essa descontextualização é reforçada pela comunidade científica, ao ensinar o conceito no ambiente acadêmico também desligado de seu contexto histórico.

Alves Filho (2000a) enriquece a Transposição Didática de duas maneiras. Ao fazê-la dialogar com Reichenbach (1961, apud ALVES FILHO, 2000a) na descrição da produção do saber sábio, o autor explicita a complexidade da produção de um conhecimento científico, e seus contextos de descoberta e de justificação. Com o auxílio de Martinand (1986, apud ALVES FILHO, 2000a), reforça a importância das *práticas sociais de referência* no processo didático.

O autor ainda levanta um ponto crucial de fragilidade da Transposição Didática de Chevallard. Ao passar por processos de descontextualização, dessincretização e despersonalização para permitir uma organização supostamente mais lógica e de fácil apreensão, o saber descrito nos manuais didáticos toma uma “configuração *dogmática, fechada, ordenada, cumulativa* e, de certa forma, *linearizada*” (ALVES FILHO, 2000a, p. 226, grifo do autor). Ou seja, o material didático, quando produzido da maneira que Chevallard descreve, tem o potencial de propagar certas imagens errôneas da ciência. É sobre este ponto, em particular, que o presente trabalho deseja se debruçar.

As concepções de ciência transmitidas pelo saber a ensinar certamente não são o reflexo mais fiel do empreendimento científico, como é afirmado pelo próprio Chevallard. Os processos de descontextualização, dessincretização e despersonalização resultam em um novo saber, distinto do conhecimento científico. A estrutura lógica dos conhecimentos dispostos no livro didático não tem a capacidade – e, talvez, nem o objetivo – de mostrar a complexidade do fazer científico.

Assim, cabe questionar quais das imagens listadas por Gil-Pérez et al (2001) pode-se inferir serem transmitidas por um livro didático produzido através de processos de descontextualização, dessincretização e despersonalização?

Aquilo que Gil-Pérez et al (2001) classificaram como **cumulativa e de crescimento linear** seria a concepção de que os conhecimentos científicos são produzidos de maneira a aumentar o

volume de proposições, juntamente com aqueles que já circulavam naquele meio. A negação de crises na ciência e a das profundas modificações que um conceito pode sofrer são uma consequência irrevogável dessa visão.

Os processos de dessincretização e descontextualização têm grande responsabilidade neste ponto. No intento de tornar o conteúdo mais lógico e de fácil apreensão, por vezes, chega-se ao resultado contrário. No já mencionado trabalho de Krapas e Silva (2008), os autores reconhecem que esses processos, cujos produtos são postos nos livros didáticos, levam à polissemia da compreensão do conceito de campo. Eles apontam para a necessidade de que se faça, em algum ponto da educação científica, uma re-contextualização deste conceito. Deparando-se com a dificuldade histórica de se entrar em consenso sobre o que seria campo, o aluno teria dele, possivelmente, uma melhor aprendizagem.

Também resultante desses processos e mencionada por Alves Filho (2000a) é a concepção **dogmática e fechada** do conhecimento científico, isto é, a visão de que problemas não cabem no fazer científico. Quando descontextualizados e ressincretizados, os livros didáticos não abrem espaço para a discussão das lacunas que existiam no conhecimento, que surgem durante as pesquisas e que vêm a ser preenchidas com o lançamento de novas hipóteses.

Outra concepção distorcida do trabalho científico é produto do processo de despersonalização do conhecimento: a idéia de que a ciência é **individualista**.

Quando Chevallard (1991) advoga pela necessidade da despersonalização, ele se justifica apontando que essa transformação permite expor o conhecimento produzido por certos indivíduos ao alcance de seus pares, para a produção de outros novos, e afirmando que este é um pressuposto já herdado da própria comunidade científica e por ela autorizado. Entretanto, ao chegar à sala de aula, os resultados desse processo podem ser outros. Quando desprovido de sua associação ao trabalho contextual e social de alguns cientistas, certos conceitos no livro didático chegam atribuídos a um único deles. “*Teoria de Planck da radiação da cavidade*”, “*A teoria quântica de Einstein do efeito fotoelétrico*”, “*A Teoria de Schrodinger da Mecânica Quântica*”, “*O modelo de Bohr*” (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 9 -10) são maneiras de se referir a certos conteúdos, tomadas diretamente de sua circulação no ambiente científico e levadas ao livro didático.

Na esfera científica, referir-se a nomes de cientistas para especificar certos conceitos não tem o resultado que tem na esfera

educacional. Por terem sido descontextualizados, despersonalizados e dessincretizados, esses conceitos parecem sofrer uma re-personalização anômala para a menção de um grande cientista.

Ao se privilegiar apenas um nome para cada teoria, acaba-se transmitindo uma imagem de que somente certos gênios têm a capacidade de fazer ciência e suprimindo o caráter social do empreendimento científico, já um consenso entre epistemólogos e sociólogos da ciência. É importante frisar aqui que não é o intento deste trabalho questionar a possível genialidade desses cientistas, mas apontar que suas pesquisas foram construídas com bases em outras tantas. Este deve ser um elemento relevante para que o aluno não se sinta repellido por uma atividade que só comporta pessoas com capacidades cognitivas muito acima do normal.

Há uma quarta imagem distorcida da ciência mapeada por Gil-Pérez et al (2001) que pode ser propagada pela dessincretização; é a visão de que a ciência é **exclusivamente analítica**. A reorganização dos conceitos científicos dessincretizados leva à noção de que, progressivamente, a ciência caminha na direção de suas ramificações, pesquisando cada vez mais em especificidades. O produto dessa reorganização é a implicação de que não há esforços pela coerência global dos conteúdos produzidos cientificamente dentro daquela própria área ou em conjunto com outras.

Por último, se esses processos retiram o conhecimento de seu contexto histórico científico, também o exilam de seu contexto social e tecnológico, propagando, assim, uma **imagem socialmente neutra** da ciência. Pouco ou nada das demandas dessas duas esferas refletirão no ensino, pois ele é descontextualizado e dessincretizado. Implicamente, reforça-se o consenso popular de que a ciência é autônoma e independente, e as aplicações de suas pesquisas e suas conseqüências são de responsabilidade apenas de quem as utilizou.

1.6 A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA INTERNA E O PAPEL FUNDAMENTAL DO PROFESSOR: CONSIDERAÇÕES FINAIS

É consenso haver, efetivamente, uma transposição didática dos conteúdos científicos para sua aplicabilidade educacional. E as etapas desse processo, designadas por Chevallard como externa e interna são, certamente, partes intrínsecas dele. Entretanto, três décadas se passaram desde a primeira publicação dessa análise, e, a partir de um ponto de vista mais atual, pode-se constatar algumas mudanças nesse fenômeno inexorável no ensino de ciências.

A produção de obras didáticas, como o próprio Chevallard enfatiza, não é uma tarefa simples, pois envolve uma multiplicidade de atores, que negociam de maneira a chegar a um acordo quanto ao que nelas deve constar. A opção pela ordem acumulativa de conceitos, que supostamente empresta uma logicidade à vasta gama de conceitos, fenômenos e teorias que devem ser tratados, responde à necessidade de um foco conceitual para as aulas de ciências.

Porém, nas últimas duas décadas especialmente, muito tem se discutido sobre o que deve se ensinar nas aulas de ciências. Aos conceitos, fenômenos e teorias, as pesquisas mais atuais nessa área indicam a importância de se adicionar outros aspectos da atividade científica, como suas características, sua evolução, sua dinâmica, enfim, sua natureza. Esse é o ponto de maior convergência entre concepções de ensino tais como Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e a inserção de tópicos de História e Filosofia da Ciência. E não é sem justificativa que muitos acadêmicos defendem essas concepções. No caso das abordagens CTS, por exemplo, há algum tempo se tenta trazer essa nuance da ciência para a sala de aula. Solomon (1993) discorre sobre as grandes mudanças provocadas pelo desenvolvimento científico e tecnológico, testemunhadas durante o século 20, e sobre o espaço na sala de aula de ciências necessário para se discutir acerca do papel desses dois empreendimentos na atual conjuntura social. Já Matthews (1995) discorre sobre a disparidade evidente entre os avanços na filosofia e na sociologia da ciência e a imagem da ciência propagada nas escolas. Nesses dois estudos os autores sustentam que, além de um ensino de ciências, é igualmente necessário para a boa formação, discussões sobre ciências.

Assim, se a etapa externa da transposição didática for feita de maneira a privilegiar unicamente a disposição lógica de conteúdos, lançando mão de processos descontextualizadores, dificilmente o livro didático conseguirá dar conta de tratar aspectos tão intrínsecos da natureza da ciência. Pode-se esperar algumas atenuações nesses processos descontextualizadores, mas é inegável que um livro encontrará problemas para abarcar, simultaneamente, todo o conteúdo científico e uma vasta gama de discussões de cunho filosófico.

Mas, como o próprio Chevallard explicita, o sistema didático é composto de três polos – saber, professor e aluno – e, ao contrário do que o autor defende, que o professor precisa de uma feliz ignorância da transposição didática (CHEVALLARD, 1991, p. 19), atualmente o professor não pode desconhecer a didatização clara sofrida pelos saberes presentes no livro didático. A exigência de que ele seja licenciado na sua

disciplina implica que tenha, além de disciplinas que enfatizam os saberes escolares, como Didática ou Instrumentação, e disciplinas de caráter histórico, também o contato com o ambiente científico. No Brasil, a pesquisa científica é feita majoritariamente no âmbito dos institutos de ensino superior. Sendo esse professor em formação um ser reflexivo, e tendo sido alertado explicitamente quanto às diferenças entre conhecimentos científico e escolar, certamente notará, ao chegar à sala de aula, que os conteúdos que ensina são frutos de transformações. Ele terá a consciência que Chevallard atribui somente aos didatas.

E não é apenas no reconhecimento do processo que reside o papel fundamental do professor no ensino de ciências. Ao entender as lacunas que a didatização invariavelmente vai provocar no conteúdo do livro, o professor que tenha conhecimento em história e filosofia da ciência e nas relações CTS, e que conceba criticamente sua ciência, vai poder ponderar acerca das melhores maneiras de sanear esses problemas. Há que se formar professores capazes de agregar à tradicional bibliografia, livros que possam transmitir características da ciência mais condizentes com as atuais epistemologias. Só assim, pode-se concluir ser algo palpável a formação de alunos com capacidade crítica e reflexiva, aptos a exercer sua cidadania, atraídos pelo empreendimento científico.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. R. S.; CASTRO, G. A. M. Compreensões de professores a respeito do Princípio de Arquimedes. In: **Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 11, 2008, Curitiba.

ALVES FILHO, J. P. Atividades experimentais: do método à prática construtivista. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000a.

ALVES FILHO, J. P. Regras da Transposição Didática Aplicadas ao Laboratório Didático. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 7, n. 2, p. 44 – 58, ago. 2000b.

AMARAL, C. L. C. et al. Abordagem das relações ciência/tecnologia/sociedade nos conteúdos de funções orgânicas em livros didáticos de química do ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 1, p. 101 – 114, 2009.

ARRUDA, S. M., LABURÚ, C. E. Considerações sobre a função de experimentos no ensino de ciências. In: NARDI, R. (org). **Questões atuais no ensino de ciências**. São Paulo: Escrituras, 1998.

AUDIGIER, F. et al. La place des savoirs scientifique dans les didactiques de l'histoire et de géographie. **Revue Française de Pédagogie**, 106, p. 11 – 23, 1994.

AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a Implementação do Movimento CTS no contexto educacional Brasileiro. **Ciência&Educação**, v. 3, n. 2, p. 17 – 29, 2001.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291 – 313, dez. 2002.

BRICCIA, V. N. A natureza do conhecimento científico e o ensino de ciências. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 6, 2007, Florianópolis.

BROCKINGTON, G., PIETROCOLA, M. Serão as regras da Transposição Didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 387 – 404, 2005.

CAILLOT, C. La théorie de la transposition didactique est-elle transposable? In: RAISKY, C., CAILLOT, M. (orgs). **Au-delà des didactiques, le didactique: débats autour des concepts fédérateurs**. De Boeck Université, 1996.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência, afinal?** Tradução de Raul Filker. Editora Brasiliense, 1993.

CHEVALLARD, Y. **La transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné**. La Pensée Sauvage Éditions, 1991.

CHINELLI, M. V. et al. Equipamentos interativos: uma contribuição dos centros e museus de ciências contemporâneos para a educação científica formal. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 4, 2008.

CHINELLI, M. V.; AGUIAR, L. E. V. Experimentos e contextos nas exposições interativas dos centros e museus de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 377 – 392, 2009.

DELIZOICOV, N. C. et al. O movimento do sangue no corpo humano: do contexto da produção do conhecimento para o do seu ensino. **Ciência&Educação**, v. 10, n. 3, p. 443 – 460, 2004.

DUARTE, M. C. A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. **Ciência&Educação**, v. 10, n. 3, p. 317-331, 2004.

EL-HANI, C. N. et al. Concepções epistemológicas de estudantes de biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre história e filosofia das ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 3, p. 265 – 313, 2004.

EL-HANI, C. N. et al. Ideias sobre genes em livros didáticos de biologia do ensino médio: resultados do PNLEM/2007. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 6, 2007, Florianópolis.

EISBERG, R., RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FEYERABEND, P. **Contra o método**. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves Editora, 1977.

FORATO, T. C. M. et al. Teorias da luz e natureza da ciência: elaboração e análise de curso aplicado no ensino médio. In: **Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 11, 2008, Curitiba.

FRANCISCO, G. C. B. O ensino de genética: uma abordagem a partir dos estudos sociais da ciência e da tecnologia. Dissertação de Mestrado. Universidade Regional de Blumenau – FURB, 2005.

FRANK, P. The Place of the Philosophy of Science in the Curriculum of the Physics Student. **American Journal of Physics**, v. 15, n. 3, pp. 202 – 218, 1947.

GALVÃO, V. S.; PRAIA, J. F. Construir com os professores do 2. Ciclo práticas letivas inovadoras: um projeto de pesquisa sobre o ensino do

tema curricular “alimentação humana”. **Ciência&Educação**, v. 15, n. 3, p. 631 – 645, 2009.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, São Paulo, v.7, n.2, p. 125 – 154, 2001.

KRAPAS, S., SILVA, M. C. O conceito de campo: polissemia nos manuais, significados na física do passado e da atualidade. **Ciência&Educação**, v. 14, n. 1, p. 15 – 33, 2008.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1978.

KUHN, Thomas. Objetividade, juízo de valor e escolha teórica. IN: **A Tensão Essencial**. Lisboa, Edições 70, pp. 383-405, 1977.

LAUDAN, L. **Science and Values: the aims of science and their role in scientific debate**. Berkeley, Los Angeles, Londres: University of California Press, 1984.

LIMA-TAVARES, M., EL-HANI, C. N. Um olhar epistemológico sobre a transposição didática da Teoria de Gaia. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 6, n. 3, p. 299 – 336, 2001.

LONGINO, H. E. **Science as a Social Knowledge: values and objectivity in scientific inquiry**. Princeton: Princeton University Press, 1990.

LOPES, A. R. C. Conhecimento escolar em Química – processo de mediação didática da ciência. **Química Nova**, v. 20, n. 5, p. 563 – 568, 1997.

MACHADO, A. R. Uma experiência de assessorial docente e de elaboração de material didático para o ensino de produção de textos na universidade. **D.E.L.T.A.**, v. 16, n. 1, p. 1 – 26, 2000.

MAGALHÃES, S. I. R.; TENREIRO-VIEIRA, C. Educação em ciências para uma articulação Ciência, Tecnologia, Sociedade e Pensamento crítico: um programa de formação de professores. **Revista Portuguesa de Educação**, 2006, v. 19, n. 2, p. 85 – 110, 2006.

MANEACHINE, S. R. S. et al. A inserção de conceitos científicos no cotidiano escolar. **Ensaio – Pesquisas em Educação em Ciências**, v. 8, n. 1, 2006.

MARANDINO, M. Transposição ou recontextualização? Sobre a produção de saberes na educação em museus de ciências. **Revista Brasileira de Educação**, n. 26, p. 95 – 108, 2004.

MARTINAND, J. –L. Contribution à La caractérisation des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques. Tese de doutorado, Université de Paris Sud, 1982.

MARTINAND, J. –L. Connaître et transformer la matière. Des objectif pour l'initiation aux sciences et technique. Berne: Peter Lang, 1986.

MARTINS, A. F. P; ZANETIC, J. O tempo na mecânica: de coadjuvante a protagonista. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 2, p. 149 – 175, ago. 2002.

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, abr. 2007.

MATTHEWS, M. R. **Science teaching: the role of history and philosophy of science**. Nova Iorque, Londres: 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, dez. 1995.

MEDEIROS, A; MONTEIRO, M. A. A invisibilidade dos pressupostos e das limitações da teoria copernicana nos livros didáticos de física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 19, n. 1, p. 28 – 50, abr. 2002.

MIRANDA, E. M. et al. Concepções de professores sobre aspectos da natureza da ciência. In: **Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 7, 2009, Florianópolis.

MONTEIRO JÚNIOR, F. N., MEDEIROS, A. Distorções conceituais dos atributos do som presentes nas sínteses dos textos didáticos: aspectos físicos e fisiológicos. **Ciência&Educação**, v. 5, n. 2, 1998.

MOURA, B. A.; SILVA, C. C. A natureza da ciência e ensino de física: construindo relações a partir do estudo da óptica newtoniana. In: **Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 11, 2008, Curitiba.

MOURA, M. S. A educação científica baseada em paradigmas: uma investigação sobre a filosofia kuhniana. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, 2008.

OKI, M. C. M.; MORADILLO, E. F. O ensino de história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência&Educação**, v. 14, n. 1, p. 67 – 88, 2008.

OSTERMANN, F. A Epistemologia de Kuhn. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 184 – 196, 1996.

PESA, M. A.; OSTERMANN, F. La ciencia como actividad de resolución de problemas: La epistemología de Larry Laudan y algunos aportes para las investigaciones educativas en ciencias. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 19, número especial, p. 81 – 95, mar. 2002.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Publicação interna. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 202 p.

PFUETZENREITER, M. R. et al. Análise de uma situação didática: a compreensão do processo saúde-doença. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 165 – 184, 2003.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o realismo científico de Mario Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 213 – 227, 1999.

PIETROCOLA, M. et al. Prática interdisciplinar na formação disciplinar de professores de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 131 – 152, 2003.

PRAIA, J. et al. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. **Ciência&Educação**, v. 13, n. 2, p. 141 – 156, 2007.

REBELLO, A. P.; RAMOS, M. G. A aprendizagem de associação de resistores por meio de uma unidade de aprendizagem: a importância da construção de maquetes dinâmicas e do uso do computador. In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 18, 2009, Vitória.

REGNER, A. C. K. P. Feyerabend e o pluralism metodológico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 231 – 247, dez. 1996.

REICHENBACH, H. **The rise of Scientific Philosophy**. Berkeley e Los Angeles: University of California Press, 1961.

RICARDO, E. C. et al. A perturbação do contrato didático e o gerenciamento de paradoxos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 153 – 163, 2003.

RICARDO, E. C., ZYLBERSZTAJN, A. Os Parâmetros Curriculares Nacionais na formação inicial dos professores das ciências da natureza e matemática do ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 3, p. 339 – 355, 2007.

RON, J. M. S. **Historia de la física cuántica: el período fundacional (1860 – 1926)**. Barcelona: Crítica, 2001.

ROSA, K.; MARTINS, M. C. A inserção de história e filosofia da ciência no currículo de licenciatura em física da Universidade Federal da Bahia: uma visão de professores universitários. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 3, p. 321 – 337, 2007.

SANTOS, F. M. T. A criação e a manutenção da intersubjetividade na sala de aula de química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 3, p. 315 – 335, 2004.

SANTOS NETO, E. R. Física no Brasil para o ensino médio: uma abordagem para a compreensão da ciência e da atividade científica. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2007.

SILVEIRA, A. F. et al. Natureza da ciência numa proposta de sequência didática: explorando os pensamentos de Aristóteles e Galileu sobre o movimento relativo. In: **Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 18, 2009, Vitória.

SILVEIRA, F. L. A premissa metafísica da revolução copernicana. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 407 – 410, dez. 2002.

SIQUEIRA, M. R. P. Do invisível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2006.

SOLOMON, J. **Teaching Science, Technology and Society. Developing Science and Technology Series**. Bristol: Taylor and Francis, 1993.

TEIXEIRA, E. S. et al. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. **Ciência&Educação**, v. 15, n. 3, p. 529 – 556, 2009.

THOMSON, J. J. Carriers of negative electricity. In: In: **Nobel Lectures, Physics 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1967.

VILELA-RIBEIRO, E. B.; BENITE, A. M. C. Concepções sobre a natureza da ciência e ensino de ciências: um estudo das interações discursivas em um Núcleo de Pesquisa em Ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 1, 2009.

WEBER, M. **Ciência e Política: duas vocações**. Tradução de Leônidas Hegenberg e Octany Silveira da Mota. São Paulo: Cultrix, 1968.

CAPÍTULO 2

As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino

2 AS CONFERÊNCIAS NOBEL DE MARIE E PIERRE CURIE: A GÊNESE DA RADIOATIVIDADE NO ENSINO

2.1 RESUMO

Neste artigo, discute-se a possibilidade da utilização didática das Conferências Nobel em sala de aula. Essas conferências têm essência pedagógica, são redigidas pelo próprio cientista em linguagem acessível ao público geral e estão disponíveis na página do Prêmio Nobel. Examina-se implicações educacionais de cunhos motivacional, histórico-epistemológico e conceitual vinculadas às conferências de Pierre e Marie Curie, sobre a radioatividade. Em termos motivacionais, faz-se o uso do glamour exercido pelas conferências, confrontando-as com fatos biográficos da vida do casal e suas histórias de superação. No sentido histórico-epistemológico, explora-se os diálogos das conferências com as categorias de visões deformadas do trabalho científico mapeadas por Gil-Pérez et al (2001) e as características da coerência global e da investigação do pensamento divergente, dois dos pontos de intersecção entre as epistemologias pós-positivistas, que também foram estudados pelos autores. Trabalha-se também com a noção de descoberta científica e sua legitimação, numa associação das conferências com Badash (1965) e Martins (1990, 1997, 2005). No âmbito conceitual, trata-se da conservação da energia e das teorias atômicas associando as conferências a trabalhos de Kragh (1997, 2000) e Martins (2003).

Palavras-chave: História e Filosofia da Ciência. Prêmio Nobel. Radioatividade

2.2 INTRODUÇÃO

É fato conhecido que o Prêmio Nobel foi instituído por Alfred Nobel, grande químico sueco do século 19, em seu testamento. Milionário por sua descoberta da dinamite, Alfred vinha de uma família de grandes cientistas que ganharam e perderam fortunas em vida por suas patentes, especialmente de explosivos.

Ao falecer, seu irmão Ludwig foi confundido pelos jornalistas com Alfred. Assim, Alfred teve a estranha experiência de ler seu próprio obituário, que alardeava a morte de um ganancioso cientista que fizera fortunas com uma invenção que promoveu a guerra e a morte de centenas de pessoas. Alguns biógrafos justificam a natureza do testamento de Alfred Nobel por esse episódio. Acredita-se que, ao

deparar-se com o que pensavam de sua vida e trabalho, Alfred tomou uma atitude, reproduzida em testamento, para que este tipo de obituário não pudesse ser escrito novamente (FELDMAN, 2000).

O famoso testamento de 1895 não foi, no entanto, o primeiro testamento de Alfred Nobel. Antes dele, dois outros testamentos, de 1889 e 1893, também instituíam que de sua fortuna se originasse uma premiação, embora não tão bem definidamente quanto o de 1895 (KAUFFMANN, 2001). Pouco se sabe das motivações de Nobel para uma atitude tão pouco usual na época, mas se pode tecer algumas considerações baseadas em sua biografia e em seu próprio testamento. Era um cientista que vira sua vida e obra utilizadas para bem e mal, amante de literatura e filosofia, avesso à vida social. Feldman (2000) acredita, inclusive, que instituir um prêmio em testamento garantiu que não tivesse sua vida invadida.

Em seu testamento, Alfred Nobel definiu que o que restava de sua fortuna – após destinar parte dela a familiares e outros – deveria “*constituir um fundo cujos rendimentos devem ser distribuídos anualmente na forma de prêmios àqueles que, no ano anterior, conferiram o maior benefício à humanidade*”³ nas áreas de Física, Química, Medicina ou Fisiologia, Literatura e Paz (o Prêmio Nobel de Economia foi instituído apenas em 1969, numa iniciativa do Sveriges Riksbank). Em 1901 o prêmio passou a ser entregue e não seria exagero considerá-lo o prêmio mais significativo da atualidade. Seus ganhadores desfrutaram de celebridade, respeito e, de certa forma, imortalidade. É inegável o magnetismo exercido pelo Prêmio Nobel, fascínio este que se acentua entre especialistas e estudantes, não apenas das áreas de premiação.

Para muitos o Prêmio Nobel parece algo inatingível. Desse modo, é fácil lhe conferir um apelo mítico, o mesmo que em geral se atribui aos cientistas que o ganharam, elevando-os ao *status* de super-heróis numa realidade muito distante da realidade do homem comum. Mas, apesar disso, o Prêmio Nobel possui um *glamour* que encanta e atrai a todos, dos leigos aos cientistas, e essa atração pode servir como elemento motivador tanto para alunos do ensino médio quanto dos cursos universitários das áreas que ele premia. Um exemplo claro desse efeito do prêmio é o fato de as revistas Física na Escola e Química Nova na Escola, das Sociedades Brasileiras de Física e de Química, respectivamente, abordarem trabalhos dos detentores do prêmio

³ Este trecho do testamento de Alfred Nobel encontra-se disponível na página do Prêmio Nobel – www.nobelprize.org. Paginação eletrônica.

(KNOBEL; MACEDO, 2007; MIZRAHI, 2005; BAGNATO, 2005, ROCHA-FILHO, 1995); outro exemplo, neste caso do potencial educacional desse prêmio, é a iniciativa do Ministério da Educação de Israel em financiar parcialmente um projeto de ensino de física moderna baseado no Prêmio Nobel chamado *Journey to the Past: Bringing the Nobel Prize to the Physics Class* (ESHACH, 2008).

Em termos de uma maior aproximação do Prêmio Nobel de Física (e de Química) com o ensino, há vários aspectos a serem considerados.

Um deles é a relativa “atualidade” dos trabalhos que foram laureados. Em 1901, Wilhelm Conrad Röntgen recebeu o prêmio de física pela sua descoberta dos raios-X. Desde então não cessaram os prêmios por investigações realizadas nas chamadas áreas da física moderna e contemporânea. É importante observar que nas pesquisas em ensino de física é bastante antiga a reivindicação da atualização curricular, com a inserção de tópicos de física moderna e contemporânea nesse currículo (TERRAZAN, 1992).

Ostermann (2000) destaca os temas de física moderna e contemporânea apontados pela comunidade de professores de física, de pesquisadores em ensino de física e de pesquisadores em física como importantes para a formação do estudante do ensino médio. Dentre os tópicos mencionados, muitos deles foram objetos do Prêmio Nobel, como o efeito fotoelétrico, a radiação de corpo negro, a mecânica quântica, a radioatividade, as partículas elementares e os raios cósmicos.

Bem trabalhado em sala de aula, o contexto da atribuição do Prêmio Nobel a um cientista pode contribuir para desmistificar a própria idéia do gênio solitário, em sua torre de marfim, alheio a tudo e a todos. Esta é uma das sete categorias de imagens deformadas da ciência que Gil-Pérez et al (2001) mapearam e que serão tratadas mais adiante. A propagação de uma imagem mais real do cientista, como pessoa que erra, relaciona-se e surpreende-se, através da conferência tem o potencial de enfraquecer a ideia de que o tipo de ciência feita pelo cientista que ganha o Prêmio Nobel é inalcançável (ESHACH, 2008).

Eshach (2008) ainda destaca a importância de se explorar a ciência como uma atividade humana, realizada dentro de um contexto histórico e social. Matthews (1995) aponta para a necessidade de se formar alunos e cientistas que saibam não apenas o conteúdo curricular, mas também como a ciência cresce e se desenvolve, ou seja, aspectos relativos à natureza da ciência, sua filosofia e sua sociologia.

Por último, mas não menos importante, ao ganhar o Prêmio Nobel, o laureado deve, compulsoriamente, dar uma conferência sobre o

trabalho premiado, como disposto no parágrafo 9º do Estatuto Nobel. Como essas conferências são abertas ao público, têm estruturas mais acessíveis, essencialmente pedagógicas. Essas conferências estão na íntegra disponíveis na página do Prêmio Nobel – as mais atuais com vídeos, apresentações de slides e textos, as mais antigas somente em textos.

Assim, tendo em mente os motivos e possíveis benefícios de se usar o Prêmio Nobel como mediador do ensino de ciências, apresenta-se neste trabalho uma discussão didática de duas Conferências Nobel, examinando implicações educacionais de cunho motivacional, histórico-epistemológico e científico. Por certo, há na literatura especializada um número suficiente de trabalhos que sustentam a relevância de uma formação histórica e contextualizada, não apenas de estudantes de ensino médio, mas também dos futuros cientistas e professores (WOODALL, 1967; MATTHEWS, 1995; ERDURAN et al, 2007). Não obstante, há ainda uma distância muito grande entre a produção acadêmica e o ensino – mesmo no âmbito universitário. Então, se efetivamente há a necessidade de uma formação mais contextualizada do aluno do ensino médio, há de se contextualizar também a formação do professor que atuará nesse nível de ensino.

O objetivo deste artigo é o de discutir a produção de algo concreto, passível de ser levado à sala de aula, possivelmente em uma disciplina de história da física ou similar: a utilização e a análise de recortes das Conferências Nobel de Pierre e Marie Curie.

2.3 POR QUE AS CONFERÊNCIAS NOBEL DO CASAL CURIE?

Não há cientista mais biografado para crianças em língua inglesa que Madame Curie, como indica Owens (2009). Ele afirma que, em uma pesquisa feita por biografias infanto-juvenis no índice WorldCat de bibliotecas, 121 resultados retornaram para Marie Curie. Em segundo lugar está Albert Einstein, com 96 livros e em terceiro, Charles Darwin, com 71 títulos. O autor faz ainda uma comparação entre Einstein e Madame Curie e revela que, interessantemente, ambos desaprovaram suas experiências educacionais. *“Os biógrafos infantis apropriaram-se dessas figuras estrangeiras e, de certa forma, rebeldes, e os transformaram em ícones educacionais americanos institucionalizados”* (OWENS, 2009, paginação eletrônica). Apesar deste forte apelo educacional atribuído à figura de Marie Curie, em uma pesquisa pelos periódicos nacionais e internacionais da área de ensino de ciências, constata-se que nos níveis médio e superior de instrução o

interesse na radioatividade por si só cai fortemente – enquanto o interesse em Albert Einstein, na Teoria da Relatividade e no efeito fotoelétrico parece se manter ou, mesmo, aumentar. *Como explicar tal falta de atenção da área de ensino de ciências em um tópico tão importante e polêmico?*

Espera-se que, sendo a radioatividade um tema de fronteira entre a química e a física, a já mencionada rara produção acadêmica sobre ela seja dividida igualmente entre essas duas áreas. No entanto, este não é o reflexo mais fiel da realidade: o pouco produzido encontra-se principalmente na química; um indício claro deste fato pode ser observado em uma pesquisa pelo banco de teses e dissertações da Capes⁴ com *radioatividade* como palavra chave. Assim, em ensino de ciências, há apenas três dissertações – Silva (2007), Anele (2007) e Koepsel (2003) – que tratam o enfoque CTS e/ou o ensino de química. Já na área de história da ciência, há somente uma dissertação (SILVA, 2004). Se estes fatos por si só provocam estranhamento, a importância que essa área tem para a física agrava ainda mais este sentimento: é à radioatividade que se atribui o início do período da física moderna e é a partir dela que se trilha o caminho em direção às físicas nuclear e de partículas.

Ostermann e Moreira (2000), em uma pesquisa sobre os temas de física moderna e contemporânea apresentados na literatura como divulgação científica ou como bibliografia de consulta para professores e alunos, citam alguns trabalhos sobre radioatividade; entretanto, esse não é o tema de física moderna e contemporânea mais tratado na área de ensino de ciências – que, segundo os autores, são a relatividade, as partículas elementares e a mecânica quântica. No estudo que fazem, os autores mencionam apenas seis trabalhos sobre radioatividade, que se dividem em três grupos: artigos sobre suas implicações, como acidentes radioativos e construção de armas e usinas; livros didáticos que inserem física moderna e contemporânea no ensino médio, e artigos que investigam acerca do entendimento de radioatividade pelos alunos e sua relação íntima com os conceitos veiculados pelos meios de comunicação. A pergunta feita anteriormente assume, então, uma nova nuance: *por que a falta de interesse acadêmica no tema, especialmente na área do ensino de Física?*

Além de todos os motivos expostos, há ainda um elemento característico da gênese e do desenvolvimento da radioatividade que não se repete em qualquer outra área científica: a própria família Curie. Uma

⁴ Disponível em www.capes.org.br

interessante informação disposta na página do Prêmio Nobel é acerca da família mais laureada: Pierre e Marie Curie dividiram com Henri Becquerel o Prêmio Nobel de Física de 1903, “*em reconhecimento ao serviço extraordinário que prestaram por sua pesquisa em conjunto sobre os fenômenos de radiação descobertos por Henri Becquerel*”; Marie voltou a receber o prêmio em 1911, desta vez em Química “*em reconhecimento aos seus serviços pelo avanço da química, pela descoberta dos elementos rádio e polônio, pelo isolamento do rádio e pelo estudo da natureza e dos compostos desse notável elemento*”. A filha mais velha do casal, Irène Joliot-Curie recebeu, juntamente com o seu marido, Frédéric Joliot-Curie, o Prêmio de Química de 1935 “*em reconhecimento às suas sínteses de novos elementos radioativos*”. Uma família intimamente ligada ao Prêmio Nobel – fenômeno jamais repetido com tal intensidade – pelos estudos da radioatividade (neste caso, exclui-se Henri Richardson Labouisse Jr., marido de Ève Curie, filha mais nova do casal, que recebeu o Prêmio Nobel da Paz em nome da UNICEF, de que era diretor executivo). As Conferências Nobel juntam, então, dois potenciais fatores motivacionais para as aulas de ciências: os notórios carismas dos Curies e do Prêmio Nobel.

Por ser escrita e apresentada pelo próprio cientista, a Conferência Nobel tem uma natureza bastante peculiar. É capaz de mostrar, por exemplo, os sentimentos e a reação do autor frente uma nova descoberta, dificilmente encontrados em outros textos sobre o tema ganhador do prêmio.

E, de maneira ainda mais formidável, uma Conferência Nobel é rica em características científicas daquele momento em que se deu a descoberta, e dela pode-se traduzir com alguma aproximação a intensidade da influência que essas características exerceram sobre aquele cientista. É usual que, em uma Conferência Nobel, o autor situe seu trabalho em relação aos de outros cientistas, fale das necessidades tecnológicas de seu tempo, de seus objetivos, de suas intenções – e todos esses fatores combinados servem para contextualizar cientificamente a sua descoberta. É, enfim, um valioso e acessível documento histórico. De fato: há de se enfatizar a dimensão social da ciência, que cada cientista tem o respaldo do trabalho de outros – seja para seguir suas hipóteses, seja para contrariá-las –, que dificilmente os trabalhos são prontamente aceitos pela comunidade científica e que mesmo os cientistas mais famosos cometem erros (WHITAKER, 1979).

Whitaker (1979) enfatiza ainda que se deve ter cuidado com duas características das Conferências Nobel: primeiramente, por essa fonte ser limitada aos cientistas mais bem-sucedidos – podendo-se cair

na armadilha do endeusamento – e, em segundo lugar, que o conferencista pode superestimar ou menosprezar seu trabalho. Para que se possa manter distância desses problemas, o presente trabalho propõe o uso das conferências, mas fazendo-as dialogar sistematicamente com outras produções científicas – nas áreas de educação e história da ciência – e as biografias de Madame Curie escritas por Ève Curie (1962), filha do casal, Naomi Pasachoff (1996), do American Institute of Physics e Sharon McGrayne (1995).

2.4 A TRADUÇÃO DAS CONFERÊNCIAS NOBEL DE MARIE E PIERRE CURIE

As Conferências Nobel de Pierre e Marie Curie foram apresentadas em momentos diferentes; apesar de ambos terem recebido o Prêmio da Física de 1903, apenas Pierre apresentou uma conferência, e mesmo assim, só pode fazê-lo em 1905. Isso ocorreu porque eles não puderam se deslocar à Suécia em dezembro de 1903. Em carta de agradecimento pela premiação, Pierre desculpa-se pela ausência em 10 de dezembro, data das festividades do Prêmio Nobel, dizendo não ser possível ausentar-se dos cursos que conduzia em Paris. Além disso, Marie não se recuperara de uma doença, o que tornava inviável sua ida à Suécia, um país de inverno rigoroso, em um mês de dezembro. Assim, apenas em junho de 1905 essa viagem se tornou realidade para o casal, e só então Pierre apresentou sua conferência, em nome dele e de Marie (CURIE, 1962).

As conferências, que se encontram na página eletrônica do Prêmio Nobel, são a seguir traduzidas para o português.

2.4.1 Conferência Nobel de Pierre Curie

Substâncias Radioativas, Especialmente o Rádio 6 de junho de 1905

Permitam-me, primeiramente, dizer-lhes que estou muito feliz em falar hoje para a Academia de Ciências, que conferiu à Madame Curie e a mim a grande honra de nos laurear com um Prêmio Nobel. Precisamos nos desculpar por não termos podido vir a Estocolmo antes, por razões bastante fora de nosso controle.

Tenho de lhes falar hoje das propriedades das substâncias radioativas e, em particular, das propriedades do rádio. Não conseguirei mencionar apenas as nossas próprias investigações. No começo de nossos estudos sobre o assunto,

em 1898, éramos, juntamente a Becquerel, os únicos interessados nessa questão; desde então, mais trabalhos foram feitos e, atualmente, não é mais possível falar de radioatividade sem mencionar os resultados das investigações de um grande número de físicos como Rutherford, Debiere, Elster e Geitel, Giesel, Kauffmann, Crookes, Ramsay e Soddy, para citar apenas alguns daqueles que fizeram importantes progressos no conhecimento das propriedades radioativas.

Darei apenas um panorama da descoberta do rádio e um pequeno resumo de suas propriedades, e então falarei das consequências do novo conhecimento que a radioatividade nos provê nos vários ramos das ciências.

Becquerel descobriu, em 1896, as propriedades especiais de radiação do urânio e de seus compostos. O urânio emite raios muito fracos, que impressionam chapas fotográficas. Esses raios passam por papéis pretos e metais; eles tornam o ar um condutor elétrico. A radiação não varia com o tempo e a causa de sua produção é desconhecida.

Madame Curie na França e Schmidt na Alemanha mostraram que o tório e seus compostos possuem as mesmas propriedades. Madame Curie também tornou evidente, em 1898, que, de todas as substâncias preparadas ou usadas no laboratório, apenas aquelas que continham urânio e tório eram capazes de emitir uma quantidade substancial de raios de Becquerel. Nós chamamos tais substâncias de *radioativas*.

A radioatividade, daí por diante, apresentava-se como uma propriedade atômica do urânio e do tório, sendo uma substância mais radioativa conforme fosse mais rica em urânio ou tório.

Madame Curie estudou os minerais contendo urânio e tório e, de acordo com todos os pontos de vista já citados, todos eles eram radioativos. Mas ao fazer as medidas, ela notou que alguns deles eram mais radioativos do que deveriam ser de acordo com seus conteúdos de urânio e tório. Madame Curie assumiu que essas substâncias continham elementos químicos radioativos que eram até então desconhecidos. Nós, Madame Curie e eu, tentamos encontrar essas novas substâncias hipotéticas no minério de urânio, a pechblenda. Fazendo a análise química desse mineral e tomando a radioatividade em cada parte do tratamento, encontramos primeiramente uma substância química altamente radioativa com propriedades químicas parecidas com as do bismuto, que denominamos polônio, e então (com a colaboração de Bémont), uma segunda substância altamente radioativa próxima ao bário, a que chamamos de rádio. Finalmente, Debiere separou uma substância radioativa que pertence ao grupo dos metais-terrosos raros, o actínio.

Apenas traços dessas substâncias existem na pechblenda, mas eles têm uma enorme radioatividade, de magnitude de 2 milhões de vezes maior que a do urânio. Após tratar uma enorme quantidade de material, nós conseguimos obter sal de bário radifero o suficiente para dele extrair rádio na forma de sal puro por um método de fracionamento. O rádio é o mais alto homólogo do bário na série dos metais alcalinos terrosos. Sua massa atômica, determinada por Madame Curie, é 225. O rádio é caracterizado por um espectro distinto, que foi descoberto e estudado por Demarçay e então por Crookes, Runge e Precht,

Exner e Haschek. A reação espectral do rádio é muito sensível, mas muito menos sensível que a radioatividade por revelar a presença de traços de rádio.

Os efeitos gerais das radiações do rádio são intensos e variados.

Vários experimentos: descarga de um eletroscópio. – Os raios passam por muitos centímetros de chumbo. – Uma faísca induzida pela presença de rádio. – Excitação da fosforescência de platinocianeto de bário, vilemita e kunzita. – Coloração de vidro pelos raios. – Termoluminescência do flúor e ultramarina após a ação da radiação do rádio nessas substâncias. – Radiografias obtidas com rádio.

Uma substância radioativa como o rádio constitui uma fonte contínua de energia. Essa energia se manifesta pela emissão de radiação. Eu também mostrei, em colaboração com Laborde, que o rádio emite calor continuamente a aproximadamente 100 calorias por grama de rádio, por hora. Rutherford e Soddy, Runge e Precht e Knut Angström também mediram a emissão de calor pelo rádio; como essa emissão parece manter-se constante após vários anos, a energia total emitida pelo rádio dessa maneira é bastante considerável.

O trabalho de um grande número de físicos (Meyer e Schweidler, Giesel, Becquerel, P. Curie, Madame Curie, Rutherford, Villard, etc) mostrou que as substâncias radioativas podem emitir raios de três variedades diferentes, designados por Rutherford como raios α , β e γ . Eles diferem entre si pela ação de campos elétricos e magnéticos, que modificam as trajetórias dos raios α e β .

Os raios β , similares aos raios catódicos, comportam-se como projéteis negativamente carregados de massa 2000 vezes menor que a do átomo de hidrogênio (elétron). Eu e Madame Curie constatamos que os raios β carregam consigo eletricidade negativa. Os raios α , similares aos raios canais de Goldstein, são projéteis mil vezes mais pesados e possuem eletricidade positiva. Os raios γ são similares aos raios de Röntgen.

Várias substâncias radioativas, tais como rádio, actínio e tório, também agem de outra maneira além de sua radiação direta; o ar que as circunda se torna radioativo e Rutherford assume que cada uma dessas substâncias emite um gás radioativo instável que ele chama de *emanação* e que se espalha no ar ao redor da substância radioativa.

A atividade dos gases que se tornam radioativos dessa maneira desaparece espontaneamente, de acordo com uma lei exponencial, com uma constante de tempo característica de cada substância ativa. Pode-se então dizer que a emanação do rádio diminui à metade a cada quatro dias, a do tório a cada 55 segundos e a do actínio a cada 3 segundos.

Substâncias sólidas colocadas na presença do ar ativo que circunda substâncias radioativas também se tornam temporariamente radioativas. Esse é o fenômeno da *indução radioativa*, que Madame Curie e eu descobrimos. As radioatividades induzidas, assim como as emanações, são igualmente instáveis e desaparecem espontaneamente segundo leis exponenciais características de cada uma delas.

Experimentos: Um tubo de vidro cheio de emanação de rádio trazido de Paris. –

Descarga de um eletroscópio pelos raios da radioatividade induzida. – Fosforescência do sulfeto de zinco sob a ação da emanção.

Finalmente, segundo Ramsay e Soddy, no rádio se assenta uma contínua e espontânea produção de hélio.

A radioatividade de urânio, tório, rádio e actínio parece ser invariável por um período de vários anos; por outro lado, a radioatividade do polônio diminui à metade, de acordo com uma lei exponencial, em 140 dias e com os anos ele desaparece quase completamente.

Esses são os fatos mais importantes que se estabeleceram pelos esforços de um grande número de físicos. Diversos fenômenos já foram extensivamente estudados por eles.

As consequências desses fatos fazem-se sentir em diversas áreas da ciência.

A importância desses fenômenos para a física é evidente. O rádio constitui uma nova ferramenta de pesquisa nos laboratórios, uma fonte de novas radiações. O estudo dos raios β já é frutífero. Descobriu-se que esse estudo confirma a teoria de J.J. Thomson e Heaviside sobre a massa das partículas em movimento, carregadas eletricamente; de acordo com essa teoria, parte da massa resulta de reações eletromagnéticas do éter do vácuo. Os experimentos de Kauffmann com raios β do rádio levaram à assunção de que certas partículas têm velocidade próxima à da luz e que toda a massa da partícula é de natureza eletromagnética. Se também for feita a hipótese de que substâncias materiais são constituídas por um aglomerado de partículas eletrizadas, nota-se que os princípios fundamentais da mecânica deverão ser profundamente modificados.

A consequência para a química de nosso conhecimento das propriedades das substâncias radioativas é talvez ainda mais importante. E isso nos leva a falar sobre a fonte de energia que mantém os fenômenos radioativos.

No começo de nossas investigações, Madame Curie e eu consideramos que o fenômeno podia ser explicado por duas hipóteses distintas e bastante gerais, que foram descritas por Madame Curie em 1899 e 1900 (*Revue Générale des Sciences*, 10 de janeiro 1899 e *Revue Scientifique*, 21 de julho de 1900).

1. Na primeira hipótese, supõe-se que as substâncias radioativas tomem emprestada de uma radiação externa a energia que elas emitem, e suas radiações seriam uma radiação secundária. Não é absurdo supor que o espaço seja constantemente atravessado por radiações muito penetrantes que certas substâncias seriam capazes de capturar. Segundo trabalhos recentes de Rutherford, Cooke e McLennan, essa hipótese parece ser útil na explicação de parte da radiação extremamente fraca que emana da maioria das substâncias.
2. Na segunda hipótese, pode-se supor que as substâncias radioativas tirem de si mesmas a energia que emitem. As substâncias radioativas estariam então em curso de evolução e se transformariam lenta e progressivamente, apesar da aparente

invariabilidade de estado de algumas delas. A quantidade de calor emitido pelo rádio em vários anos é enorme se comparada ao calor emitido em qualquer reação química com a mesma quantidade de matéria. No entanto, esse calor emitido representaria apenas a energia envolvida numa transformação de uma quantidade de rádio tão pequena que não poderia ser notada, mesmo após anos. Isso nos leva à suposição de que a transformação tem muito mais alcance que as transformações químicas ordinárias, que a existência do átomo está em risco e que estamos frente a uma transformação dos elementos.

A segunda hipótese tem se mostrado muito mais fértil para explicar as propriedades das substâncias radioativas propriamente ditas. Em particular, ela dá uma explicação imediata ao desaparecimento do polônio e à produção de hélio pelo rádio. Essa teoria da transformação dos elementos foi desenvolvida e formulada com grande audácia por Rutherford e Soddy, que propuseram haver uma desagregação contínua e irreversível dos átomos dos elementos radioativos. Na teoria de Rutherford, os produtos da desagregação seriam, por um lado, os raios projéteis e por outro lado, as emanações e a radioatividade induzida. As últimas seriam substâncias radioativas gasosas ou sólidas frequentemente com uma rápida evolução e tendo massas atômicas menores que a do elemento original, do qual se derivaram. Visto dessa maneira, a vida do rádio seria necessariamente limitada quando fosse separado de outras substâncias. Na natureza, o rádio é sempre encontrado associado ao urânio e pode-se assumir que seja produzido por ele.

Portanto, essa é uma forte teoria da transmutação dos elementos, apesar de não ser como os alquimistas a entendiam. A matéria inorgânica necessariamente evoluiria através das eras de acordo com leis imutáveis.

Por uma consequência inesperada, os fenômenos radioativos podem ser importantes na geologia. Descobriu-se, por exemplo, que o rádio sempre acompanha o urânio em minerais. Descobriu-se até mesmo que a razão de rádio para urânio é constante em todos os minerais (Boltwood). Isso confirma a ideia da criação de rádio pelo urânio. Essa teoria pode ser estendida também para tentar explicar outras associações de elementos que ocorrem tão frequentemente em minerais. Pode-se imaginar que certos elementos foram formados na superfície da Terra ou que eles se originam de outros elementos num tempo que pode ser da ordem de magnitude de eras geológicas. Esse é um novo ponto de vista que os geólogos terão de considerar.

Elster e Geitel mostraram que a emanação do rádio está extensamente distribuída na Natureza, e que a radioatividade provavelmente tem uma função importante na meteorologia, com a ionização do ar provocando a condensação de vapor d'água.

Finalmente, nas ciências biológicas, os raios de rádio e suas emanações produzem efeitos interessantes, que estão sendo presentemente estudados. Os raios de rádio vêm sendo usados nos tratamentos de certas doenças (lúpus, câncer, doenças nervosas). Em certos casos, sua ação pode ser

perigosa. Se uma caixa de madeira ou papelão contendo uma pequena ampola de vidro com alguns centigramas de sal de rádio for deixada no bolso por poucas horas, sentir-se-á absolutamente nada. Mas quinze dias depois, uma vermelhidão aparecerá na epiderme, e então um machucado, que será muito difícil de curar. Uma ação ainda mais prolongada pode levar a paralisia e morte. O rádio deve ser transportado numa grossa caixa de chumbo.

Pode-se inclusive considerar que o rádio pode tornar-se muito perigoso em mãos criminosas e aqui se levanta a questão quanto à capacidade da humanidade de se beneficiar do conhecimento dos segredos da natureza, se está pronta para lucrar com isso e se essa sabedoria não será prejudicial. O exemplo das descobertas de Nobel é característico, pois explosivos poderosos capacitaram o homem a fazer trabalhos maravilhosos. Eles também são terríveis meios de destruição em mãos de grandes criminosos, levando povos a guerras. Sou um daqueles que acreditam, como Nobel, que a humanidade aproveitará as novas descobertas mais para bem do que para mal.

Marie, que não se apresentou formalmente em 1905, teve a oportunidade de falar de suas pesquisas ao ser laureada, pela segunda vez, com um Prêmio Nobel, desta vez em química. De acordo com Pasachoff (1996), o Prêmio de Física de 1903 não mencionou as descobertas do polônio e do rádio, porque membros do comitê de Química defendiam a possibilidade de os Curies futuramente ganharem o prêmio da área. E assim aconteceu, quando Marie recebeu esse prêmio em 1911 – o prêmio não menciona o nome de Pierre, morto em 1906, pois, como consta no estatuto, não se institui prêmios póstumos.

Seis anos passaram-se entre as duas apresentações, e a compreensão de alguns fenômenos associados à radioatividade já era algo mais sólida. A teoria da transmutação dos elementos, proposta por Rutherford e Soddy, já estava consolidada; Rutherford ganhara, inclusive, o Prêmio Nobel de Química de 1908, “*por suas investigações sobre a desintegração dos elementos e a química das substâncias radioativas*”. Frederick Soddy também ganharia o Prêmio de Química, mais à frente, em 1921, “*por suas contribuições ao nosso conhecimento da química das substâncias radioativas e suas investigações sobre a origem e a natureza dos isótopos*”.

Nesse ínterim entre os dois prêmios, Pierre Curie faleceu (abril de 1906), Marie Curie tornou-se professora na Universidade de Paris (1908) e, segundo McGrayne (1995, p.38), “*enfrentou uma crise científica*”. Em agosto de 1906, Lorde Kelvin, eminente físico na época, anuncia que o rádio não era um elemento, mas um composto de hélio e chumbo. Tal afirmação levou Marie, que ainda não conseguira isolar o

rádio metálico, a focar todos os seus esforços para fazê-lo, como ela enfatiza fortemente em sua Conferência Nobel, cuja tradução é apresentada a seguir.

2.4.2 Conferência Nobel de Marie Curie

Rádio e os novos conceitos da Química 11 de dezembro de 1911

Cerca de 15 anos atrás, a radiação do urânio foi descoberta por Henri Becquerel. Dois anos depois, o estudo desse fenômeno foi estendido a outras substâncias, primeiramente por mim e depois por mim e Pierre Curie. Esse estudo rapidamente nos levou à descoberta de novos elementos cujas radiações, apesar de análogas às do urânio, eram muito mais intensas. Chamei todos os elementos que emitiam tal radiação de *radioativos* e a nova propriedade da matéria revelada nessa emissão recebeu então o nome *radioatividade*. Graças à descoberta das novas e muito poderosas substâncias radioativas, particularmente o rádio, o estudo da radioatividade progrediu com maravilhosa rapidez: às descobertas seguiram-se outras descobertas numa rápida sucessão e ficou óbvio que uma nova ciência estava em desenvolvimento. A Academia Sueca de Ciências foi bastante gentil em celebrar o nascimento dessa ciência, oferecendo o Prêmio Nobel de Física aos primeiros trabalhadores no campo: Henri Becquerel, Pierre Curie e Marie Curie (1903).

Daquele momento em diante, numerosos cientistas devotaram-se ao estudo da radioatividade. Permitam-me lembrá-los de um deles, que, pela certeza de seu julgamento, pela audácia de sua hipótese e através de muitas investigações feitas por ele e seus pupilos, obteve sucesso não apenas em expandir nosso conhecimento, mas também em classificá-lo com grande clareza; ele proveu a espinha dorsal da nova ciência, na forma de uma teoria muito precisa, que admiravelmente se encaixava nos estudos dos fenômenos. Fico feliz em lembrar que Rutherford veio a Estocolmo em 1908 para receber o Prêmio Nobel, reconhecimento bem merecido por seu trabalho.

Longe do fim, o desenvolvimento da nova ciência tem seguido em frente constantemente. E agora, apenas 15 anos após a descoberta de Becquerel, estamos frente a frente com um mundo inteiro de novos fenômenos pertencentes a um campo que, apesar de sua próxima conexão com os campos da física e da química, é particularmente bem definido. Nesse campo, a importância do rádio do ponto de vista das teorias gerais foi decisivo. A história da descoberta e do isolamento dessa substância forneceu provas de minha hipótese de que a radioatividade é uma propriedade atômica da matéria e pode prover meios de busca por novos elementos. Essa hipótese nos trouxe às teorias atuais da radioatividade, segundo as quais podemos prever com certeza a existência de cerca de 30 novos elementos que não poderíamos usualmente isolar ou caracterizar por métodos químicos. Também assumimos que esses elementos

passam por transformações atômicas e a prova mais direta em favor dessa teoria é dada pelo fato experimental, que é a formação do elemento quimicamente definido hélio pelo elemento quimicamente definido rádio.

Vendo o assunto desse ângulo, pode-se dizer que a tarefa de isolar o rádio é a pedra fundamental do edifício da ciência da radioatividade. Mais ainda, o rádio permanece sendo a mais útil e poderosa ferramenta nos laboratórios de radioatividade. Acredito que é por essas considerações que a Academia Sueca de Ciências me dá a grande honra de me laurear com o Prêmio Nobel de Química deste ano.

É, portanto, minha tarefa apresentar-lhes o rádio em particular como um novo elemento e deixar de lado a descrição de vários fenômenos radioativos que já foram descritos nas Conferências Nobel de H. Becquerel, P. Curie e E. Rutherford.

Antes de dar início ao conteúdo desta conferência, eu gostaria de lembrar que as descobertas do rádio e do polônio foram feitas por Pierre Curie em colaboração comigo. Também se deve a Pierre Curie a pesquisa básica no campo da radioatividade, que foi feita tanto por ele sozinho, quanto em colaboração com seus pupilos.

O trabalho químico necessário para isolar o rádio no estado de puro sal e de caracterizá-lo como um novo elemento foi feito por mim especialmente, mas está intimamente ligado ao nosso trabalho em comum. Por isso, sinto que interpreto corretamente a intenção da Academia de Ciências ao assumir que o prêmio de tal distinção a mim é motivado por nosso trabalho em comum e, então, presta homenagem à memória de Pierre Curie.

Deixem-me lembrá-los, inicialmente, que uma das mais importantes propriedades dos elementos radioativos é a ionização do ar em suas vizinhanças (Becquerel). Quando um composto de urânio é colocado numa placa metálica A, oposta a outra placa B e a diferença de potencial é mantida entre as placas A e B, uma corrente elétrica passa entre essas placas; essa corrente pode ser mensurada com precisão sob condições pertinentes e servirá para medir a atividade das substâncias. A condutividade passada para o ar pode ser atribuída à ionização produzida pelos raios emitidos pelos compostos de urânio.

Em 1897, usando esse método de medida, eu comecei um estudo da radiação dos compostos de urânio e logo estendi esse estudo a outras substâncias, com o objetivo de descobrir se a radiação desse tipo ocorre em outros elementos. Encontrei, dessa maneira, que, dos outros elementos conhecidos, apenas os compostos de tório comportam-se como os compostos de urânio.

Fui golpeada pelo fato de que a atividade do urânio e do tório parecia ser uma propriedade atômica desses elementos. Compostos químicos e misturas contendo urânio e tório são ativas em proporção direta à quantidade desses metais neles presentes. A atividade não era destruída por mudanças de estado físico ou transformações químicas.

Medi a atividade de um número de minerais; todos os que pareciam radioativos sempre continham urânio ou tório. Mas um fato inesperado foi

notado: certos minerais (pechblenda, calcolita, autunita) tinham atividades maiores que as esperadas, baseando-se nos conteúdos de urânio e tório. Assim, certas pechblendas que continham 75% de óxido de urânio eram cerca de quatro vezes mais radioativas que este óxido. A calcolita (fosfato de cobre e urânio cristalizado) é cerca de duas vezes mais radioativa que o urânio. Isso conflitava com a idéia de que nenhum mineral deveria ser mais radioativo do que o urânio metálico. Para explicar esses fatos, preparei calcolita sintética a partir de produtos puros e obtive cristais cujas atividades eram completamente consistentes com seus conteúdos de urânio; essa atividade era de cerca da metade da do urânio.

Então, pensei que a grande atividade do mineral natural poderia ser determinada pela presença de uma pequena quantidade de um material altamente radioativo, diferente do urânio, do tório e dos elementos conhecidos até então. Também me ocorreu o fato de que se assim fosse, eu poderia extrair tais substâncias do mineral por métodos de análise química ordinários. Pierre Curie e eu logo começamos essa pesquisa, esperando que a proporção do novo elemento alcançasse alguma porcentagem considerável. Na realidade, a proporção do elemento hipotético era muito menor e levou vários anos para mostrarmos sem erros que a pechblenda contém ao menos um material altamente radioativo, que é um novo elemento no sentido que a química define.

Fomos então levados a criar um novo método de busca por novos elementos, um método que se baseia na consideração de que a radioatividade é uma propriedade atômica da matéria. Cada separação química era seguida pela medida da atividade dos produtos obtidos, sendo, dessa maneira, possível determinar como a substância ativa se comportava do ponto de vista químico. Esse método tornou-se aplicação geral, e num certo sentido é similar à análise espectral. Por causa da vasta variedade de radiações emitidas, o método pôde ser aperfeiçoado e estendido, tornando possível não apenas a descoberta de materiais radioativos, mas também a distinção um do outro, com precisão.

Constatamos também que, ao usar o método descrito, era possível concentrar a atividade por métodos químicos. Descobrimos que a pechblenda contém ao menos dois materiais radioativos, um dos quais, acompanhando o bismuto, recebeu o nome de polônio enquanto o outro, par do bário, foi chamado de rádio.

Outros elementos radioativos foram descobertos desde então: actínio (Debiere), radiotório e mesotório (Hahn), iônio (Boltwood), etc.

Estávamos convencidos de que os materiais que descobríamos eram novos elementos químicos. Essa convicção baseava-se somente na natureza atômica da radioatividade. Mas, no início, do ponto de vista químico, era como se nossas substâncias fossem puro bismuto e puro bário. Era vital mostrar que a propriedade radioativa estava ligada a traços de elementos que não eram nem o bismuto, nem o bário. Para fazê-lo, os elementos hipotéticos deveriam ser isolados. No caso do rádio, o isolamento foi completamente bem sucedido, mas demandou vários anos de grandes esforços. O rádio na forma de puro sal é uma

substância cuja manufaturação é atualmente industrializada; nenhuma outra substância radioativa permitiu a obtenção de resultado tão positivo.

Os minerais radíferos são alvo de muitos estudos, pois a presença do rádio lhes confere um grande valor. Eles são identificáveis seja pelo método eletromagnético ou muito simplesmente pela impressão que produzem em chapas fotográficas. O melhor mineral de rádio é a pechblenda de St. Joachimsthal (Áustria), que por muito tempo foi processada para a obtenção de sais de urânio. Após a extração deste último, o mineral deixa um resíduo que contém rádio e polônio. Nós normalmente usamos esse resíduo como nossa matéria-prima.

O primeiro tratamento consiste na extração do bário radífero e do bismuto que contém o polônio. Esse tratamento, que foi feito pela primeira vez em laboratório com vários quilos de matéria-prima (cerca de 20 kg), teve de ser realizado numa fábrica, devido à necessidade de processamento de milhares de quilogramas. Na verdade, nós aprendemos gradativamente com a experiência que o rádio está na matéria-prima na proporção de alguns poucos decigramas por tonelada. Cerca de 10 a 20 kg de puro sulfato de bário contendo rádio são extraídos de uma tonelada de resíduo. A atividade desses sulfatos é mesmo assim de 30 a 60 vezes maior que a do urânio. Esses sulfatos são purificados e convertidos em cloretos. Na mistura de cloretos de bário e rádio, o rádio está presente apenas na proporção de cerca de três partes por cem mil. Na indústria do rádio na França, um mineral muito menos rico é usado mais frequentemente e a proporção indicada é ainda muito menor. Para separar o rádio do bário, utilizei o método de cristalização fracionada do cloreto (o brometo também pode ser usado). O sal de rádio, menos solúvel que o sal de bário, concentra-se em cristais. A fracionamento é uma operação longa e metódica, que elimina gradualmente o bário. Para obter um sal muito puro, tive de repetir a cristalização várias milhares de vezes. O progresso da fracionamento é monitorado pelas medidas de atividade.

Uma primeira prova de que o elemento rádio existia foi fornecida pela análise espectral. O espectro de um cloreto enriquecido por cristalização exibiu uma nova linha que Demarçay atribuiu ao novo elemento. Conforme a atividade tornava-se mais concentrada, a nova linha aumentava em intensidade e outras linhas apareciam enquanto o espectro do bário tornava-se cada vez menos visível.

Eu determinei repetidamente a massa atômica média do metal no sal submetido à análise espectral. O método utilizado consistia em determinar o conteúdo de cloro na forma de cloreto de prata numa quantidade conhecida do cloreto anidro. Notei que esse método oferece resultados muito bons, mesmo para quantidades tão pequenas de substâncias (0,1 a 0,5g), havendo uma balança muito rápida para evitar a absorção de água pelo sal alcalino-terroso durante as pesagens. A massa atômica aumenta com o enriquecimento do rádio, como indicado pelo espectro. As massas atômicas sucessivamente obtidas foram: 138; 146; 174; 225; 226,45. Este último valor foi determinado em 1907 com 0,4g de sal de rádio muito puro. Os resultados de um número de determinações são

226,62; 226,31; 226,42. Estes foram confirmados por experimentos mais recentes.

A preparação de puros sais de rádio e a determinação da massa atômica do rádio provou positivamente que o rádio é um novo elemento e possibilitou que uma posição definitiva lhe fosse dada. O rádio é o mais alto homólogo do bário na família dos metais alcalinos terrosos; entrou na tabela de Mendeleev na coluna correspondente, na linha que contém o urânio e o tório. O espectro do rádio é conhecido precisamente. Esses resultados tão exatos para o rádio convenceram os químicos e justificaram o estabelecimento da nova ciência dos elementos radioativos.

Quimicamente, o rádio pouco difere do bário; os sais desses dois elementos são isomórficos, enquanto os de rádio são menos solúveis que os de bário. É bastante interessante observar que a forte radioatividade do rádio não envolve anomalias químicas e que as propriedades químicas são realmente correspondentes à posição no Sistema Periódico indicada por sua massa atômica. A radioatividade do rádio em sais sólidos é cerca de cinco milhões de vezes maior que a do mesmo peso de urânio. Devido a essa atividade, seus sais são espontaneamente luminosos. Gostaria também de lembrar que o rádio libera energia continuamente, medida como calor, em torno de 118 calorias por grama de rádio, por hora.

O rádio foi isolado no estado metálico (M. Curie e A. Debierne, 1910). O método usado consiste na destilação em hidrogênio muito puro do amálgama do rádio formado pela eletrólise de uma solução clorada usando um cátodo de mercúrio. Apenas um decígrama de sal foi tratado e conseqüentemente houve dificuldades consideráveis. O metal obtido derrete a 700°C, e acima de tal temperatura começa a volatilizar. É muito instável no ar e decompõe a água vigorosamente.

As propriedades radioativas do metal são exatamente aquelas que podem ser previstas, assumindo-se que a radioatividade dos sais é uma propriedade atômica do rádio, cujo estado de combinação não afeta. Era de real importância corroborar esse ponto conforme dúvidas eram levantadas por aqueles que ainda não aceitavam a hipótese atômica da radioatividade.

Apesar de o rádio ter sido obtido até agora em quantidades muito reduzidas, é lícito afirmar, concluindo, que é um elemento químico perfeitamente definido e já bem estudado.

Infelizmente, o mesmo não se estende ao polônio, para o qual esforços consideráveis já foram despendidos. O grande obstáculo nesse caso é o fato de que a proporção de polônio no mineral é cerca de cinco mil vezes menor que a de rádio.

Antes que evidências teóricas estivessem disponíveis para se prever essa proporção, conduzi várias operações extremamente laboriosas para concentrar polônio e, dessa maneira, consegui produtos com atividades muito altas sem, no entanto, chegar a resultados definitivos, como no caso do rádio. A dificuldade aumenta com o fato de que o polônio desintegra-se espontaneamente, desaparecendo pela metade num período de 140 dias. Agora

sabemos que o rádio também não tem uma vida infinita, mas a taxa de desaparecimento é muito menor (ele diminui pela metade em 2000 anos). Com nossas possibilidades, mal podemos esperar determinar a massa atômica do polônio, pois a teoria prevê que um mineral rico pode conter apenas alguns poucos centésimos de miligrama por tonelada, mas podemos esperar observar seu espectro. A operação de concentração de polônio, como mostrarei mais tarde, é, ainda assim, um problema de grande interesse teórico.

Recentemente, em colaboração com Debierne, comecei a tratar várias toneladas de resíduos de mineral de urânio com o objetivo de preparar polônio. Inicialmente conduzido numa fábrica, e depois no laboratório, esse tratamento finalmente trouxe uns poucos miligramas de uma substância cerca de 50 vezes mais ativa que o mesmo peso de puro rádio. No espectro da substância, algumas novas linhas podiam ser observadas que pareciam atribuíveis ao polônio e das quais a mais importante tem o comprimento de onda de $4170,5\text{Å}$. De acordo com a hipótese atômica da radioatividade, o espectro do polônio deveria desaparecer ao mesmo tempo em que sua atividade, e esse fato pode ser confirmado experimentalmente.

Eu considerei até agora o rádio e o polônio apenas como substâncias químicas. Mostrei como a hipótese fundamental, que diz que a radioatividade é uma propriedade atômica da substância, nos levou à descoberta de novos elementos químicos. A partir de agora, descreverei como o escopo dessa hipótese aumentou consideravelmente com as considerações e fatos experimentais que resultaram no estabelecimento da teoria atômica das transformações radioativas.

O ponto inicial desta teoria deve ser procurado nas considerações sobre a fonte da energia envolvida nos fenômenos radioativos. Essa energia se manifesta como uma emissão de raios que produzem fenômenos térmicos, elétricos e óticos. Como a emissão ocorre espontaneamente, sem qualquer causa de excitação, várias hipóteses foram admitidas para explicar a liberação de energia. Uma das hipóteses lançadas no começo de nossa pesquisa, por mim e Pierre Curie, consistia em assumir que a radiação fosse uma emissão de matéria acompanhada de uma perda na massa da substância ativa e que a energia fosse retirada da própria substância, cuja evolução ainda não estaria completa e que passa por uma transformação atômica. Essa hipótese, que primeiramente poderia apenas ser enunciada juntamente com outras teorias igualmente válidas, teve importância dominante e finalmente se assentou em nossas mentes graças ao corpo de evidências experimentais que a substanciavam. Essas evidências tratam-se essencialmente do seguinte: existe uma série de fenômenos radioativos na qual a radioatividade parece estar fortemente atrelada à matéria em quantidade imponderável; a radiação não é permanente, desaparecendo mais ou menos rapidamente com o tempo. O polônio, as emanações radioativas e os depósitos de radioatividade induzida são exemplos.

Ficou estabelecido ainda que, em certos casos, a radioatividade observada aumenta com o tempo. Isso acontece com o rádio recém-preparado,

com a emanção recém-introduzida no aparato de medição, com o tório privado de tório-X, etc.

Um estudo cuidadoso desses fenômenos mostrou que uma explicação geral bastante satisfatória pode ser dada ao assumir que, cada vez que se observa uma diminuição da radioatividade, há uma destruição de matéria radioativa e que, cada vez que se observa um aumento da atividade, há uma produção de matéria radioativa. As radiações que desaparecem e aparecem são, além disso, de uma natureza muito variada e admite-se que cada tipo de raio determinado pode servir para caracterizar uma substância que seja sua fonte e aparece e desaparece com ele.

Como a radioatividade é ainda uma propriedade essencialmente atômica, a produção ou a destruição de um tipo distinto de radioatividade corresponde a uma destruição ou produção de átomos de uma substância radioativa.

Finalmente, supondo-se que a energia radioativa seja um fenômeno que deriva de transformação atômica, pode-se deduzir que toda substância radioativa passa por uma transformação, mesmo nos parecendo invariável. A transformação, nesse caso, é apenas lenta demais, sendo este o caso do rádio ou do urânio.

A teoria que acabei de resumir é o trabalho de Rutherford e Soddy, que eles chamaram de teoria da desintegração atômica. Aplicando essa teoria, pode-se concluir que uma substância radioativa primária como o rádio passa por uma série de transmutações atômicas pelas quais o átomo de rádio dá origem a uma série de átomos de massas cada vez menores, já que um estado estável não pode ser atingido enquanto o átomo formado for radioativo. A estabilidade só pode ser alcançada por matéria inativa.

Desse ponto de vista, um dos triunfos mais brilhantes da teoria é a predição de que o gás hélio, sempre presente em minerais radioativos, pode representar um dos produtos finais da evolução do rádio e que é na forma de raios α que os átomos de hélio, que são formados quando os átomos de rádio se desintegram, são descarregados. Agora, a produção de hélio pelo rádio foi provada pelos experimentos de Ramsay e Soddy, e não se pode mais contestar que o elemento químico perfeitamente definido rádio permite a formação de outro elemento químico bem definido – o hélio. Mais ainda, as investigações feitas por Rutherford e seus estudantes provaram que as partículas α emitidas pelo rádio com uma carga elétrica podem também ser encontradas na forma de gás hélio no lugar de onde foram retiradas.

Devo frisar aqui que a arrojada interpretação da relação existente entre rádio e hélio apóia-se inteiramente na certeza de que o rádio tem todas as características de um elemento químico, como têm todos os outros elementos conhecidos, e que não pode haver dúvidas quanto à possibilidade de ser uma combinação molecular do hélio com outro elemento. Isso mostra o quão fundamental nessas circunstâncias tem sido o trabalho feito para provar a individualidade química do rádio e isto também pode ser visto na maneira como a hipótese da natureza atômica da radioatividade e a teoria das transformações

radioativas nos levaram a descobertas experimentais de um primeiro exemplo claramente estabelecido de transmutação atômica. Esse é um fato de significância que não escapa a ninguém e que, incontestavelmente, marca uma época no ponto de vista da química.

Trabalhos consideráveis, guiados pela teoria das transformações radioativas, levaram a aproximadamente 30 novos elementos radioativos, classificados em quatro séries, de acordo com a substância primária: estas são as séries de urânio, rádio, tório e actínio. As séries de urânio e rádio, na realidade, podem ser combinadas, pois parece estar provado que o rádio é um derivado do urânio. Na série de rádio, o último corpo radioativo conhecido é o polônio, cuja produção pelo rádio é atualmente fato provado. É possível que a série de actínio esteja ligada à de rádio.

Mostramos que o gás hélio é um dos produtos da desintegração do rádio. Os átomos de hélio soltam-se dos átomos de rádio e seus derivados durante a transformação. Supõe-se que, após a partida de quatro átomos de hélio, o átomo de rádio produz um átomo de polônio; a partida de um quinto átomo de hélio determina a formação de um corpo inativo, cuja massa atômica acredita-se ser igual a 206 (20 unidades abaixo da do rádio). Segundo Rutherford, este último elemento é nada mais nada menos que o chumbo, e essa suposição tem sido alvo de verificação experimental em meu laboratório. A produção de hélio a partir de polônio foi provada diretamente por Debierne.

A quantidade relativamente grande de polônio preparado por Curie e Debierne permitiu que um importante estudo fosse feito. Ele consistiu na contagem de grandes números de partículas- α emitidas pelo polônio e na coleta e na medição do volume correspondente de hélio. Como cada partícula é um átomo de hélio, o número de átomos de hélio é então encontrado ocupando certo volume e tendo certa massa. Assim, conseguimos deduzir, em linhas gerais, o número de moléculas em uma molécula-grama. Esse número, conhecido como constante de Avogadro, é de grande importância. Experimentos conduzidos com polônio levaram a um primeiro valor dessa constante, que está de acordo com os valores obtidos por outros métodos. A enumeração de partículas α é feita por um método eletromagnético devido a Rutherford; esse método foi aperfeiçoado com um aparato de gravação fotográfica.

Investigações recentes mostraram que o potássio e o rubídio emitem uma radiação bastante fraca, similar à radiação beta do urânio e do rádio. Ainda não sabemos se devemos considerar radioativas essas substâncias, ou seja, que estejam em processo de transformação.

Para concluir, eu gostaria de enfatizar a natureza da nova química de substâncias radioativas. Toneladas de material têm de ser tratadas para que se extraia rádio do mineral. As quantidades de rádio disponíveis num laboratório são da ordem de um miligrama ou de um grama no máximo, valendo essa substância 400.000 francos por grama. Frequentemente, materiais foram manuseados e a presença de rádio nestes não pode ser detectada pela balança ou mesmo pelo espectroscópio. E mesmo assim, temos métodos de medição tão perfeitos e sensíveis que conseguimos conhecer com bastante precisão as

pequenas quantidades de rádio que estamos usando. A análise radioativa por métodos eletrométricos nos permite calcular com erro de 1% um milésimo de um miligrama de rádio e detectar a presença de 10^{-10} gramas de rádio diluídos em alguns poucos gramas de material. Esse método é o único que poderia nos levar à descoberta do rádio, haja vista a diluição dessa substância no minério. A sensibilidade dos métodos é ainda mais forte no caso da emanção do rádio, que pode ser detectada quando a quantidade presente chega, por exemplo, a apenas 10^{-10} mm³. Como a atividade específica de uma substância, no caso de radiações análogas, está aproximadamente na proporção inversa da vida média, resulta que, se a vida média for muito curta, a reação radioativa pode ter sensibilidade sem precedentes. Também estamos acostumados, atualmente, a lidar em laboratório com substâncias cujas presenças apenas nos são mostradas por suas propriedades radioativas, mas que mesmo assim podemos determinar, dissolver, reprecipitar de suas soluções e depositar eletroliticamente. Isso significa que nós temos aqui um tipo completamente distinto de química, para a qual a ferramenta mais utilizada é o eletrômetro e não a balança, e que podemos chamar de química do imponderável.

2.5 IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS

Ao utilizar essas duas Conferências Nobel e fazê-las dialogar com outras produções acadêmicas, nota-se a presença de algumas categorias de implicações educacionais. Essas implicações seriam de cunhos motivacional, histórico-epistemológico e conceitual.

Em se tratando das implicações motivacionais, pode-se mencionar alguns obstáculos bastante significativos que o casal teve que transpor. O primeiro deles, que Pierre e Marie Curie não mencionam em suas conferências, seriam as condições de trabalho a que se submeteram durante os longos quatro anos na tentativa de isolar os novos elementos. É impressionante que eles pudessem desenvolver métodos de detectar o rádio com erros tão pequenos trabalhando em um hangar de teto esburacado e chão de terra, em que a umidade era a maior inimiga, presente diariamente (CURIE, 1962). A obstinação desse casal fez com que eles passassem por cima de toda sorte de obstáculos para que pudessem ter evidência experimental de sua hipótese. Este é um exemplo de superação e tenacidade para o aluno, que também encontra em seus estudos os mais diversos obstáculos.

O segundo deles diz respeito especialmente ao gênero. É importante frisar o que Marie Curie enfrentou não apenas durante sua busca pelos novos elementos, mas por toda a sua vida: as dificuldades que a ela impunham por ser mulher. Por esse motivo, ela não pode

continuar seus estudos em nível superior em sua terra natal, a Polônia, especialmente após a invasão russa – apesar de ter o apoio incondicional de seu pai. Marie mudou-se para a França, para estudar na Sorbonne, onde uma de suas irmãs cursava medicina. Morou com sua irmã por um tempo, mas por necessitar de mais tranquilidade e silêncio, decidiu morar sozinha num apartamento que com seus poucos ganhos poderia manter (CURIE, 1962).

Por ser, além de mulher, uma estrangeira, Madame Curie teve seus obstáculos potencializados. Vivia com pouquíssimo dinheiro – mesmo depois de casar com Pierre, até conseguir um cargo na Universidade de Paris – e comia muito mal. Alimentava-se com sopas, pães e frutas no pequeno quarto em que vivia, que sustentava com o dinheiro que arrecadara em seus tempos de governanta na Polônia e com bolsas que conseguia. Mulheres francesas não frequentavam universidades no fim do século 19, o que a distinguiu ainda mais dos franceses – serviço que seus atributos físicos eslavos já faziam (CURIE, 1962; MCGRAYNE, 1995).

No caso do próprio Prêmio Nobel, segundo Pasachoff (1996) e McGrayne (1995), a nomeação estendia-se apenas a Pierre, mesmo que grande parte das comunicações científicas tenha sido assinada por ela e por ambos. Foi necessária a intervenção do membro do comitê Magnus Goesta Mittag-Leffler, que, ao escrever a Pierre sobre a situação, recebeu a resposta de que Marie também deveria ser considerada, pois o trabalho sobre matéria radioativa era do casal – e então, numa manobra burocrática, os membros do Comitê Nobel de Física conseguiram nomeá-la em parceria com Pierre. Apesar de já consagrada mundialmente como cientista, Marie Curie só assumiu uma cadeira na Sorbonne em substituição a Pierre, após sua morte.

Há ainda outro obstáculo que o casal contornou enquanto pode: as doenças e os ferimentos causados pelo excesso de exposição à radioatividade. Foi apenas na década de 1920 que se começou a pesquisar os perigos da exposição à radiação emitida pelos compostos radioativos, quando se notou o aumento na incidência de câncer entre as mulheres que usavam rádio na maquiagem e as altas taxas de morte por anemia e leucemia entre os cientistas e bolsistas que trabalhavam com pesquisa em radioatividade. Hoje, entende-se que nenhuma pessoa esteve tão exposta à radioatividade quanto Marie Curie, e provavelmente seria este o destino de Pierre não houvesse ele morrido trágica e precocemente num acidente de trânsito. A exposição à radiação provocou no cientista feridas profundas nas mãos e nas pernas (pela proximidade do bolso, onde ele levava as amostras de rádio), às quais

ele, inclusive, se refere em sua Conferência Nobel. O casal vivia em permanente estado de cansaço. Ao fim de sua vida, Marie, praticamente cega pela catarata, sofreu também de leucemia, que provocou sua morte em 1934.

De fato, não foram poucos os obstáculos que se impuseram na trajetória do casal Curie – preconceitos, doenças, falta de reconhecimento e, talvez o maior de todos, a separação com a morte de Pierre. Mesmo assim, biógrafos do casal, como Ève Curie (1962), Pasachoff (1996) e McGrayne (1995) insistem que nenhum deles fez apagar a chama científica – reconhecidamente muito forte – que existia dentro deles. Quando perguntados se patenteariam suas descobertas, o que enriqueceria o casal e permitiria a construção de um laboratório adequado às pesquisas, alegaram que isso iria contra o espírito científico. Mais adiante em sua vida, Madame Curie lutaria por uma ciência francesa mais forte e aberta a estrangeiros e mulheres, com certo êxito. A história de vida do casal é repleta de fatos que, como esses, corroboram a constatação dos biógrafos.

No que se refere às implicações educacionais de cunho histórico-epistemológico, este trabalho desenvolve-os em dois momentos distintos. No primeiro deles, dispõe-se a fazer uma associação das conferências com Gil-Pérez et al (2001), argumentando, que elas podem ser utilizadas para lidar com as visões deformadas da ciência mapeadas pelos autores.

Numa leitura cuidadosa da Conferência Nobel de Marie Curie, logo se encontra a passagem que diz respeito aos resultados da primeira técnica que desenvolveu para a verificação da atividade de todos os elementos. Ela afirma ter sido “golpeada” pelos indícios de que as atividades de urânio e tório pareciam ser uma propriedade atômica desses elementos. Assim, de posse desta primeira conjectura, ela passa a medir sistematicamente a atividade de vários outros minerais, e se depara com o inesperado: alguns minerais tinham atividades muito maiores que suas proporções de urânio e tório previam. Ao invés de descartar a hipótese da natureza atômica da radiação, ela prepara esses minerais artificialmente e observa que suas radioatividades são perfeitamente consistentes com seus conteúdos de urânio e tório. Surge, então, uma nova hipótese: a da existência de um elemento químico até então desconhecido, em quantidade ínfima e de altíssima atividade.

Ela e Pierre decidem empreender a busca por esse elemento hipotético através de técnicas químicas ordinárias, o que se mostrou uma tarefa muitíssimo árdua, pois esse elemento parecia estar em proporções ainda menores do que eles esperavam. Por este motivo, o casal

desenvolve uma nova técnica de pesquisa, cuja base teórica é a natureza atômica da radioatividade. E essa técnica os levou primeiramente ao polônio e depois ao rádio.

O que se pode notar na narração de Marie Curie é que a ciência que estava sendo construída por eles nada tinha de atórica, a concepção de uso mais corrente na bibliografia, segundo Gil-Pérez et al (2001). Este fato também transparece na Conferência Nobel de Pierre Curie, quando ele menciona a assunção de novos elementos radioativos e, a partir desta hipótese, procura por eles. A importância de uma hipótese apriorística e a perseverança nela ficam ainda mais claras ao considerar que eles trabalharam por mais de quatro anos nas técnicas de concentração do rádio e do polônio. Neste caso, foram duas as hipóteses que nortearam os trabalhos do casal: a radioatividade ser de fato uma propriedade atômica da matéria e a existência de elementos químicos radioativos em quantidades imponderáveis.

Essa mesma narração ainda contraria outra imagem deformada da ciência: a visão algorítmica, exata e infalível, ou seja, a existência de um método científico. Observa-se que cada novo experimento dependia de uma nova suposição, que não havia um guia de passos a se seguir até que se encontrasse o rádio. Foi necessário que se substituísse métodos e técnicas para que se chegasse aos resultados desejados.

Outra visão deformada da ciência que cai por terra com a análise das conferências é a imagem aproblemática e aistórica da ciência. A palavra que Marie Curie usa em sua conferência, ao falar da descoberta da radiação como sendo uma propriedade atômica da matéria, é “golpeada” (struck, em inglês), ou seja, ela encontrou algo que jamais esperava. A própria estrutura de sua conferência deixa claro que houve um processo de construção dessa ciência, em que os problemas, longe de serem encarados como empecilho, colaboraram para seu desenvolvimento.

Ainda sobre as concepções levantadas por Gil-Pérez et al (2001), a visão acumulativa e de crescimento linear da ciência tem um contra-exemplo bastante forte na conferência de Marie Curie. Ela fala da dificuldade de provar a existência dos elementos radioativos; a comunidade científica, especialmente os químicos, exigia que o rádio e o polônio estivessem isolados, pois do ponto de vista químico aceito na época, esses elementos poderiam ser considerados o bário e o bismuto, respectivamente. Após a consagração do rádio como elemento químico, de espectro e massa atômica bem definidos, e, conseqüentemente, da radioatividade como nova ciência, a comunidade passou a aceitar outros 30 novos elementos químicos que não poderiam ser e nem foram

isolados. Pode-se, então, observar uma mudança de postura bastante relevante.

Há outra categoria destacada por Gil-Pérez et al (2001), a visão que trata a ciência como elitista e individualista. Diz respeito à imagem normalmente propagada de um cientista especialmente dotado, o que passaria ao aluno a idéia de algo inalcançável “*com claras discriminações de natureza social e sexual*” (p. 133). Observa-se nas conferências que os Curie situam sistematicamente seus trabalhos dentre os outros. Fica claro que o casal teve acesso aos trabalhos de vários cientistas, como Becquerel, cujo trabalho deu o primeiro passo para as investigações, Demarçay, com as análises espectrais, Debierne, que descobriu o actínio e ajudou Marie Curie a isolar o rádio em estado metálico, e Rutherford e Soddy, que propuseram a teoria da transmutação dos elementos a partir dos fenômenos radioativos e das hipóteses para a questão energética propostas pelo casal. Neste aspecto, a conferência de Pierre Curie é ainda mais rica que a de sua esposa. Já no começo de sua aula, ele fala que não conseguiria relatar a radioatividade a partir das investigações realizadas somente pelo casal, e que, apesar de no começo apenas eles e Becquerel se interessassem pelo novo fenômeno, poucos anos depois, muitos cientistas trabalhavam em todas as múltiplas possibilidades que a radioatividade oferecia.

Os aspectos sociais são usualmente dissociados da ciência, como observaram Gil-Pérez et al (2001). Para essa imagem deformada da ciência, encontramos um contra-exemplo fortíssimo na última parte da Conferência de Pierre Curie. Ele discorre sobre a importância da radioatividade na geologia, na meteorologia e na medicina, apontando inclusive para o perigo que constitui os conhecimentos sobre o rádio e a radioatividade em mãos erradas. Aponta-se aqui que as descobertas de Pierre e Marie Curie não foram de modo algum motivadas por necessidades sociais e tecnológicas; entretanto, ambos demonstraram grande interesse nas capacidades tecnológicas e medicinais do rádio. Pierre mostra seu interesse explicitamente em sua Conferência; Marie, como se sabe, foi ativista na 1ª Grande Guerra e defendeu a utilização do rádio e dos raios X para fins medicinais.

Por fim, há a concepção exclusivamente analítica da ciência, ou seja, a necessidade de compartimentação dos estudos, ignorando que haja por trás de pesquisas pontuais diversos esforços para teorias unificadoras. Os autores constataam a baixíssima frequência desta visão nos trabalhos acadêmicos, apesar da importância epistemológica que ela assume. E ela também pode ser desmistificada com as Conferências Nobel do casal, especialmente de Pierre, quando ele enfatiza o

significado que os novos fenômenos teriam para a química e a física como se conhecia à época. Continuar estudando os fenômenos radioativos e negar que os princípios por trás deles estremeciam a ciência como um todo seria ter dela uma visão analítica; mas Pierre demonstra preocupação exatamente no sentido oposto.

Esse trecho da aula de Pierre Curie encaixa-se também na desmistificação da já citada visão acumulativa de crescimento linear, pois aponta claramente para a revolução científica que acontecia desde a descoberta dos raios X e da radioatividade. Como é bem frisado por Gil-Pérez et al (2001), este tipo de superposição de visões é bastante natural e freqüente.

Gil-Pérez et al (2001) não se restringem a mapear as imagens deformadas do trabalho científico. Em uma segunda etapa de sua pesquisa, procuram embasamento nos pontos de convergência entre diversas epistemologias pós-positivistas para definir com certa segurança algumas das características que se pode, de fato, atribuir ao trabalho científico. São elas: a recusa de um Método Científico, porém havendo lugar para uma pluralidade de métodos científicos; a recusa da origem sensorial do conhecimento científico; o destaque do papel atribuído pela investigação ao pensamento divergente; a busca pela coerência global, e a compreensão do caráter social do desenvolvimento científico. No discurso de Pierre Curie, novamente pode-se encontrar exemplos claros de posturas em favor do pensamento divergente e da busca pela coerência global.

Hipóteses ganham um *status* diferenciado nas epistemologias pós-positivistas, onde entra, então, o destaque à investigação do pensamento divergente. Assim, as hipóteses devem ser “*postas à prova da forma mais rigorosa possível*” (GIL-PÉREZ et al, 2001, p. 136), porém sem um método normativo engessado.

Esta característica encontra reflexos bem delineados na Conferência de Pierre Curie, quando ele expõe que, após a hipótese de que a radioatividade seria uma característica atômica do urânio e do tório, sua esposa pesquisou tantos minerais que os continham quanto pôde, reafirmando e solidificando sua hipótese.

Mais adiante, ao dissertar sobre a fonte contínua de energia que era o rádio, fala que quantificou, juntamente com Laborde, o calor emitido por um grama de rádio, hipótese que foi submetida a testes por diversos outros cientistas, que chegaram à mesma conclusão e números aproximados. Na Conferência de Marie Curie, enquanto descreve as belezas da produção de matéria estável por matéria instável, ela destaca a possibilidade de se calcular a constante de Avogadro a partir das

partículas α emitidas pelo polônio e comparar a grandeza encontrada a outras obtidas através de outros métodos. Estes são dois exemplos da busca pela coerência global, característica do trabalho científico em que se submete certas hipóteses a provas de outros experimentos consolidados, verificando se existe uma coerência global dentro da ciência.

Há algumas considerações histórico-epistemológicas relativas ao momento do descobrimento da radioatividade que podem ser feitas tendo como ponto de partida uma interessante colocação de Pierre Curie, logo ao início de sua conferência: em 1898, apenas Becquerel, além do casal, parecia ocupar-se dos estudos dos raios de urânio. Quatro artigos de historiadores da ciência – Badash (1965) e Martins (1990, 1997, 2005) – são postos aqui a dialogar com as duas conferências, além das comunicações de Henri Becquerel à Academia Francesa de Ciências em 1896.

A descoberta da radioatividade tem íntimas relações com a descoberta dos raios X, por Röntgen, ao final de 1895. Henri Poincaré, que recebera do próprio Röntgen uma chapa impressionada pela radiação, apresenta-a numa comunicação frente a Academia Francesa de Ciências já no início do ano seguinte. Nessa comunicação ele levanta a possibilidade de, pelos raios X se originarem no ponto fluorescente do tubo de Crookes, outros materiais luminescentes também emitirem a nova radiação. Essa sugestão pôs diversos físicos franceses à procura de radiações geradas desta maneira – dentre eles, Henri Becquerel, que já tinha um histórico de pesquisas com materiais luminescentes, muitos deles compostos de urânio (MARTINS, 1997). Já em fevereiro de 1896, ele apresenta os primeiros resultados de suas pesquisas. Em março, passa a falar especificamente dos compostos de urânio.

Interessantemente, a descoberta da radiação de urânio não despertou tanto fascínio naquele momento histórico-científico quanto desperta hoje em dia. A competição com uma descoberta como a radiação X, que tinha a capacidade de impressionar chapas fotográficas a ponto de se obter os negativos de ossos humanos, não era fácil. Os fenômenos que surgiam eram muito mais do que se esperava da ciência do fim do século 19 – quando se chegou a admitir a possibilidade de, após a estruturação da física clássica, a física trabalhar apenas no sentido do aperfeiçoamento do que já era conhecido. Além disso, outras radiações – imaginárias ou reais – surgiam frequentemente, frutos das dificuldades técnicas, das interpretações ambíguas de fenômenos ou das crenças pessoais dos cientistas envolvidos. A própria radioatividade

quase passou despercebida neste novo mundo de radiações, como se verá a seguir.

Badash (1965) faz uma compilação de diversos trabalhos de cientistas pelo mundo que, após o lançamento da hipótese de Poincaré, puseram-se a trabalhar nos compostos luminescentes e chegaram a observar a radiação do urânio, mas não interpretaram corretamente o fenômeno. É o caso de Silvanus Thompson, que, segundo o autor, deparou-se com a radioatividade antes mesmo de Becquerel, mas ao associá-la a algum tipo de luminescência (mesmo tendo resultados para compostos não luminescentes), enxergou o fenômeno de maneira errônea e abandonou a pesquisa com sais de urânio, voltando a trabalhar com raios X.

Mesmo Henri Becquerel parece não ter interpretado sua grande descoberta como algo extraordinário que é. Sobre a radiação dos corpos luminescentes, dos sais de urânio e do urânio metálico fez sete comunicações em 1896, duas em 1897 e nenhuma em 1898 – ano em que o casal Curie joga luz na verdadeira raiz do fenômeno. Suas interpretações estavam inicialmente presas àquela conjectura de Henri Poincaré, como esclarecem os títulos de suas três primeiras comunicações: “*Sobre as radiações emitidas por fosforescências*”, de 24 de fevereiro de 1896 (BECQUEREL, 1896a), “*Sobre as radiações invisíveis emitidas pelos corpos fosforescentes*”, de 2 de março de 1896 (BECQUEREL, 1896b) e “*Sobre algumas novas propriedades das radiações invisíveis emitidas por diversos corpos fosforescentes*”, de 9 de março de 1896 (BECQUEREL, 1896c). Mesmo localizando suas pesquisas nos sais de urânio, nos trabalhos seguintes, e mesmo observando que o urânio metálico, que não é luminescente, também emitia essa radiação, Becquerel não concluiu ser essa radiação uma propriedade do urânio. Pelo contrário, manteve-se firme na hipótese da luminescência – sugerindo ser o urânio o primeiro caso de um material de fosforescência invisível (MARTINS, 1990). Ele encerra sua comunicação de 18 de maio de 1896 com a seguinte constatação:

Ao continuar o estudo desses novos fenômenos, penso ser de grande importância apontar para a emissão produzida pelo urânio que acredito ser o primeiro exemplo de um metal que apresenta um fenômeno da ordem de uma fosforescência invisível (BECQUEREL, 1896d, p. 1088).

Nessa comunicação, ele faz um apanhado dos resultados de suas pesquisas com sais de urânio até então. Assim, logo no começo, comenta sobre a constatação de que os compostos de urânio emitem radiação apesar de não expostos à luz. Esta constatação poderia se constituir no ponto de virada nos estudos da radiação de urânio, mas não o foi para Becquerel. Logo após descrever a independência do fenômeno da luz, ele afirma que a exposição ao sol ou à luz aumentou ligeiramente a intensidade da radiação emitida pelos sais de urânio, o que se sabe atualmente não ser verdadeiro. E mais à frente, ele reitera ter mostrado “*igualmente que essas radiações se refletem e se refratam, como a luz*” (BECQUEREL, 1896d, p. 1086).

Analisando esta sequência de fatos exposta pelo próprio cientista, enxerga-se claramente o ponto das pesquisas em que a radiação do urânio se mostrava mais fortemente singular: o fato de irradiar mesmo de corpos não luminescentes. No entanto, essa clareza não existia na época. O histórico de Henri Becquerel nos estudos de compostos luminescentes, o fato de ele estar pesquisando por radiações análogas aos raios X e a hipótese lançada por Poincaré interferiram em suas interpretações dos fenômenos e o fizeram acreditar ter encontrado nada além de radiações eletromagnéticas ordinárias. Sua inclinação à luminescência, entretanto, levanta certas dúvidas quanto à atribuição da descoberta da radioatividade.

Como já foi mencionado, Silvanus Thompson, na Inglaterra, também se deparou com a radiação dos compostos de urânio. Porém, sua interpretação errônea do fenômeno e seu maior interesse nos raios X impediram-no de verdadeiramente descobrir a radioatividade (BADASH, 1965). Os mesmos argumentos são utilizados por Martins (1990), ao mostrar a impossibilidade de se atribuir a Henri Becquerel a descoberta da radioatividade. Para o autor, os relatos do próprio cientista em suas comunicações apontam para o fato de ele não reconhecer a essência e a distinção do fenômeno com que trabalhava. Ele localizou uma radiação nos compostos de urânio, é verdade. Mas, mesmo tendo notado os efeitos elétricos dessa radiação e sua independência da excitação ótica, manteve-se firme na hipótese da luminescência.

Além disso, a radioatividade não se encerra no urânio, mas as pesquisas de Becquerel, sim. Quando Marie Curie – simultânea e independentemente de Schmidt, na Alemanha – notou que também o tório tinha a propriedade de emitir radiações como às do urânio, constatou que o nome *radiação de urânio*, até então utilizada, não era fiel ao fenômeno. Como menciona em sua Conferência Nobel, cunhou, primeiramente, o adjetivo radioativo para os elementos que

apresentassem tais propriedades, e depois o termo radioatividade, elucidando a presença de um novo fenômeno, distinto dos raios X, com suas próprias potencialidades.

As dificuldades interpretativas não param em Becquerel e em Thompson. Badash (1965) afirma que a grande sacada de Marie e Pierre Curie no estudo das radiações do urânio e, depois, do tório teria sido a investigação através de métodos elétricos, em detrimento do método fotográfico, o que proporcionara uma pesquisa muito mais quantitativa do que se fazia, e diminuía a quantidade de erros – muitas vezes, chapas fotográficas eram impressionadas em consequência de reações químicas, e não de emissão de radiações. Porém, no mesmo artigo, o autor cita a pesquisa de eminentes físicos como Lorde Kelvin, John Carruthers Beattie e Maryan Smoluchowski de Smolan, que também fizeram experimentos de natureza elétrica com o urânio metálico e não chegaram a nenhuma conclusão efetiva. Ou seja, foi preciso muito mais do que apenas o método elétrico para que os Curies chegassem às hipóteses e conclusões a que chegaram.

Posteriormente, as pesquisas sobre as radiações do urânio mostraram-se muito frutíferas, revolucionando a ciência do início do século 20. Mas foi apenas nas mãos de dois cientistas que, à época, não se encontravam no epicentro da ciência francesa que o fenômeno ganhou a interpretação correta. O número de comunicações de Henri Becquerel sobre as radiações de urânio falam por si mesmos: como já mencionado, em 1898, Becquerel não apresentou nenhuma comunicação sobre os estudos com urânio à Academia Francesa de Ciências. Nesse mesmo ano, o casal Curie anunciou haver encontrado uma nova substância radioativa na pechblenda, ressuscitando o assunto.

Deve-se observar, no entanto, que apesar das evidências, Becquerel foi e é considerado o descobridor da radioatividade, dividindo inclusive o Prêmio Nobel de 1903 com o casal Curie, “*em reconhecimento aos serviços extraordinários por ele prestados com a descoberta da radioatividade espontânea*”. O próprio Pierre Curie, em sua Conferência, menciona que “*No começo de nossos estudos sobre o assunto, em 1898, nós éramos, juntamente com Becquerel, os únicos interessados nessa questão*” (CURIE, 1967). Com esse exemplo, pode-se argumentar que uma parte do que caracteriza uma descoberta científica parece estar intimamente atrelada às relações sociais exercidas naquele contexto histórico-científico.

Os episódios descritos aqui, aliados à polêmica que Martins (1990) levanta e aos argumentos de Badash (1965), têm grande potencial educacional histórico-epistemológico. A pertinente discussão

quanto ao que caracteriza e, principalmente, legitima uma descoberta científica é latente na formação tanto do cientista quanto do professor de ciências. O espaço de uma disciplina de História da Ciência deve destinar certa atenção aos diversos fatores para a consolidação de uma descoberta, não apenas do ponto de vista científico, mas também do ponto de vista social. A utilização das Conferências aqui traduzidas em articulação com os artigos mencionados pode proporcionar o ‘pontapé inicial’ desta discussão, por oferecer uma passagem da história da ciência que ilustra e fornece grandes argumentos.

A legitimidade de uma descoberta científica pode ter o reconhecimento de um Prêmio Nobel, mas esse assunto pode gerar polêmicas, como a levantada por Martins (2005), sobre os dois Nobel atribuídos a Madame Curie. Segundo o autor, do ponto de vista de um historiador da ciência que, de fato, leve em conta a ciência, o prêmio dedicado ao casal Curie de 1903 foi merecido, ao contrário do Prêmio da Química destinado à Marie Curie em 1911. Ele argumenta que todos os trabalhos relevantes de Marie Curie foram feitos anteriormente à sua premiação de 1903, tendo o prêmio de 1911 mais valor social do que científico.

É verdade que Marie Curie, pouco antes de ser laureada em química, passara por sérias crises pessoais, que envolveram um escândalo com Paul Langevin – físico francês de muito prestígio, amigo do casal, que era casado –, ataques xenofóbicos e problemas de saúde. Como já era figura conhecida e de muito carisma internacionalmente, defende-se que a comunidade científica tenha premiado a cientista naquele momento específico de sua vida na tentativa de desviar as atenções de sua vida pessoal (REID, 1979, apud MARTINS, 2005).

Esta posição quanto aos valores sociais e científicos dos prêmios de Marie Curie parece aceitável a primeira vista, mas toma contornos bastante radicais quando se analisa o contexto mais amplo. De fato o Prêmio Nobel de Física de 1903, atribuído a Pierre e Marie Curie, não menciona as descobertas do rádio e do polônio – como se pode constatar no portal do Prêmio Nobel. Essa ausência dos elementos no título do prêmio pode ser considerada muito estranha, pois como Pierre já sugeria – por vezes, enfatizava – em 1905, o rádio, especialmente, era o pilar da ciência da radioatividade. Não obstante, como destacam as biografias de Madame Curie, McGrayne (1995) e Pasachoff (1996) essa ausência se justifica, pois o grupo de químicos da Academia Sueca de Ciências defendeu a possibilidade de o casal ser laureado na área, em outro momento, por tais descobertas.

Realmente, a descoberta dos novos elementos, em particular do rádio, teve importância vital dentro da química, como já foi discutido anteriormente nas implicações epistemológicas, pois provocou uma mudança clara de postura da comunidade química da época. Como Madame Curie disserta em sua aula, o estabelecimento do rádio como elemento químico de massa atômica, espectro e posição bem definidos na tabela periódica consolidou a radioatividade e permitiu que outros trinta elementos radioativos – que não tinham massa atômica e espectro definidos – fossem reconhecidos, a grande maioria após a premiação de 1903. Não bastasse essa (enorme) contribuição de Marie Curie para a Química especialmente, há outra ainda, também bastante singular: em 1910 (e, portanto, no hiato entre 1903 e 1911), ela obtém, com a colaboração de Andre Debierne, o rádio em estado metálico, extinguindo de uma vez por todas as dúvidas que pairavam sobre a existência desse elemento.

Aqueles que ainda atribuem ao segundo prêmio à Marie Curie muito mais valor social do que científico podem contra-argumentar que, apesar de os dividendos da descoberta do rádio terem chegado entre 1903 e 1911 (com a consagração da radioatividade), o rádio foi descoberto efetivamente antes de 1903. Sabe-se também que, no testamento de Nobel, ele pede que seja premiada a contribuição mais importante para a humanidade *no ano anterior*. Todavia, a história da premiação é repleta de exemplos de laureados que haviam publicado suas contribuições muito anteriormente ao ano em que receberam o prêmio. Röntgen recebeu o prêmio em 1901 por sua descoberta de 1895; Henri Becquerel e o casal Curie, laureados em 1903, por suas descobertas de 1896 e 1898, respectivamente. Max Planck foi premiado em 1918, mas a descoberta da quantização de energia foi feita em 1900. Albert Einstein explicou o efeito fotoelétrico em 1905, mas foi laureado apenas em 1921.

Voltando à radioatividade, é inegável que a pressão da comunidade científica para a premiação de Marie Curie, especificamente no ano de 1911, tenha sido parcialmente motivada pela crise pessoal que a cientista vinha vivendo. Contudo, seria apropriado tomar uma posição como esta sem que parte significativa do crédito da premiação fosse dada às importantes contribuições científicas que Madame Curie deu à química? Por certo, esta discussão também tem seu lugar assegurado numa aula sobre a radioatividade.

Dentre as várias implicações educacionais de cunho conceitual, optou-se neste artigo por tratar de uma em especial: a questão da origem da energia que fomenta os fenômenos radioativos. Na Conferência

Nobel de Pierre Curie, é bastante clara a passagem em que ele trata das hipóteses lançadas a este problema: uma delas sendo a suposição de que a matéria radioativa tome essa energia de uma radiação externa; a outra, supondo que a matéria radioativa tire de si mesma essa energia.

De fato, é relatada por Ève Curie (1962) a agitação que as buscas pela explicação da radioatividade causaram entre os cientistas franceses:

Discutem-se os últimos “boatos” circulantes: indiscrições sobre os raios “alfa”, “beta” e “gama” do radium... Perrin, Debierne e Urbain tagarelam com ardor. Andam à cola da energia emitida pelo radium, e para explicá-la têm que por de lado o princípio da conservação da matéria e o princípio da conservação de energia – duas bases! Quando Pierre lembra da hipótese das transmutações radioativas, Urbain rompe em berros. Não quer ouvir nada e defende com violência a outra idéia! E em que ponto está o trabalho de Sagnac? E que notícias há das experiências de Marie sobre o peso atômico do radium? (CURIE, 1962, p. 200).⁵

Assim, nota-se nesse pequeno grupo de cientistas ao menos um que não concebia a segunda hipótese lançada por Pierre em sua conferência, baseado nos trabalhos de Sagnac, que, ao observar os metais atingidos pelos raios X, constatou também a emissão de raios secundários, que eram mais fortemente absorvidos que os raios X incidentes. Numa placa metálica fina, notou que esses raios secundários se propagavam para os dois lados, e embora o metal tivesse absorvido pouquíssima radiação, os seus raios secundários eram capazes de impressionar fortemente as chapas fotográficas. Esses raios secundários eram mais fortes conforme fosse maior o peso atômico da substância irradiada. Assim, Marie foi levada a conjecturar a possibilidade da existência no espaço de radiações difíceis de detectar, como os raios X, que ao serem absorvidas pelo urânio, elemento químico de maior peso até então, fariam com que ele emitisse uma radiação secundária (MARTINS, 2003).

Na conferência de Pierre sua inclinação à hipótese da transmutação dos elementos de Rutherford e Soddy fica bastante clara. Apesar desse posicionamento, Martins (2003) defende que foi a hipótese

⁵ A tradução dessa obra foi feita por Monteiro Lobato.

da emissão secundária que guiou os primeiros experimentos de Marie, pois restringir o fenômeno apenas aos elementos mais pesados daria suporte à hipótese da radioatividade ser uma propriedade atômica da matéria. Contudo, mais tarde o casal encontra nesta hipótese uma barreira para a compreensão da natureza dos fenômenos radioativos.

Marie e Pierre mantiveram uma posição reticente quanto à origem da energia dos processos radioativos em suas comunicações de 1900, 1902 e 1903. William Crookes, por exemplo, propunha em 1898 que essa energia era retirada do ar ao redor, violando a lei de entropia. Já em 1900, ele mudou sua posição para a hipótese materialística, mencionando inclusive a possibilidade de haver corpos menores que o átomo, referenciado no modelo de Thomson. Mendeleev, que considerava alquimia as novíssimas descobertas do elétron e da radioatividade, continuava a propor uma hipótese similar à primeira de Crookes. Em 1923, Perrin ainda defendia a hipótese de que a radioatividade não seria um fenômeno espontâneo, mas acionado por alguma radiação de origem terrestre ou cósmica (KRAGH, 1997).

O momento de efervescência científica do fim do século 19 e começo do século 20 só fez aumentar a nebulosidade sobre a verdadeira natureza dos fenômenos radioativos. A descoberta contemporânea do elétron e dos raios X, somada ao posicionamento rígido dos grandes químicos, fez com que a primeira década do século fosse marcada fortemente pela criação, divulgação e defesa de diversos modelos atômicos que dessem conta desses novos fenômenos – a grande maioria sendo meramente especulativa.

Kragh (1997) divide o estudo da radioatividade em três períodos: de 1898 a 1903, a fase exploratória, quando se buscava entender especialmente se o fenômeno era de natureza atômica ou causado por fatores externos; o segundo período vai de 1903 a 1913, quando a primeira conjectura já era aceita e então se passou a procurar por explicações sobre a natureza da radioatividade. A partir de 1913, as investigações das causas da radioatividade ganham novos contornos, com o estabelecimento do modelo atômico de Bohr-Rutherford. O período intermediário, descrito pelo autor, mostra que não foi simples a aceitação de qualquer uma das hipóteses expostas por Pierre Curie ou outras. O autor explica “(...) *havia interesse considerável em explicar a radioatividade em termos de modelos atômicos no período de 1903 a 1913*” (p. 331). A incipiência dos modelos atômicos fazia com que a compreensão da natureza da radioatividade também o fosse; a forte necessidade de compreensão da natureza da radioatividade através de modelos atômicos fez com que muitos químicos se sentissem invadidos pela física.

Interessantemente, o mesmo autor (KRAGH, 2000), divide a história da evolução da noção de elemento químico também em três períodos. O primeiro deles começa exatamente com a descoberta da radioatividade, em 1896. Este primeiro período, para o autor, significa para a noção de elemento químico um período de fortes confusões, que dura até 1913. A pedra fundamental para o fim da confusão, novamente, é o modelo atômico de Bohr-Rutherford. As principais causas dessa discórdia residiam justamente nas crenças pessoais dos cientistas, muitos deles obtusos em relação à matéria imutável, ao átomo indivisível e ao éter (KRAGH, 2000). Como se pode notar, este primeiro período da história da noção de elemento químico é o mesmo período que o autor atribui às duas primeiras fases dos estudos da radioatividade.

Apesar do nome – *A Causa e a Natureza da Radioatividade* (RUTHERFORD; SODDY, 1902) – e de fornecer uma ótima descrição para os decaimentos radioativos, a teoria de Rutherford e Soddy não era capaz de explicar a causa da radioatividade. Mesmo assim, essa parecia ser uma preocupação generalizada entre os físicos e físico-químicos da época, inclusive de Rutherford, que em 1907 afirma que as teorias atômicas daquele momento não eram capazes de responder a questão causal do fenômeno. O período de preocupação com a causalidade parece ter atingido seu ápice, mas, por cerca de uma década, nenhum progresso fora feito na explicação da natureza da radioatividade. Kragh (2000, p. 353) menciona um pronunciamento de Marie Curie, em 1910:

Sua conclusão limitada de que, de alguma maneira, a radioatividade seria o resultado da desordem intra-atômica demonstrava que não acontecera nenhum progresso de fato na explicação da radioatividade durante uma década.

O interesse geral no assunto parece ter decaído quando os grandes cientistas da época continuaram produzindo conhecimento sobre a radioatividade apesar de não conhecerem ao certo sua natureza. Pode-se também inferir que explicações estatísticas passavam cada vez mais a entrar no cotidiano dos cientistas daquele momento. Na segunda década do século 20, apenas cientistas periféricos ainda se dedicavam à procura da natureza da radioatividade, enquanto os cientistas mais renomados continuavam suas pesquisas, que não foram afetadas pelo desconhecimento das causas do fenômeno. Por este motivo, Kragh (2000) defende que a radioatividade tenha se transformado de *problema sem solução* em *não-problema solucionado*. Este não é o primeiro

episódio da história da ciência em que o desenvolvimento das pesquisas num conceito tenha prosseguido apesar de não se conhecer ao certo sua natureza. A mecânica newtoniana é o mais antigo e conhecido dos exemplos que podemos dar de abandono das causas; essa característica também é típica da eletricidade e da espectroscopia (PEDUZZI, 2008).

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo que o presente trabalho seja primariamente direcionado a estudantes e professores de física, num esforço de contextualização da formação de futuros professores e físicos, é importante apontar que, pela radioatividade representar uma intersecção entre física e química, muitas das discussões aqui propostas enquadram-se também na sala de aula de química. Como já foi mencionado, esforços para o ensino de radioatividade parecem mais concentrados entre os educadores em química; a perspectiva da maioria dos trabalhos, porém, não é histórica, filosófica e sociológica.

A inserção dos aspectos históricos, filosóficos e sociológicos já é de certa maneira consagrada na comunidade de educadores em física; na comunidade dos educadores em química, Matos et al (1991) listam as diversas justificativas para esse tipo de inserção. Não causa qualquer estranhamento o fato de que essas justificativas sejam similares às justificativas que os educadores em física frequentemente citam, sobre as quais se discorreu na introdução do trabalho. Mas, além delas, os autores chamam a atenção para um problema típico da formação de química, que pode ser resolvido com o auxílio da formação histórica e filosófica do professor de química.

Elas vão permitir ao professor a aprendizagem de determinados conceitos e teorias que, embora abandonados pelo ensino da Química no terceiro grau, em prol de outros, mais atuais e abrangentes, ainda são ensinados no segundo grau, numa formulação muito aproximada daquela em que foram originalmente concebidas no passado (MATOS et al, 1991, p. 296).

Kragh (2000) mostra claramente como o limite entre as duas ciências no início do século 20, especialmente pela descoberta do elétron e da radioatividade, parecia cada vez mais nebuloso. Não é objetivo deste trabalho querer suscitar uma discussão sobre os domínios

de cada ciência, mas é inegável que o átomo e, portanto, a radioatividade, representam intersecções fortes das duas áreas. A Academia Sueca de Ciências também não pareceu se importar com títulos quando laureou reconhecidos físicos, como Marie Curie e Ernest Rutherford, com o Prêmio Nobel de Química. E a teoria da desintegração atômica, tão relevante e estudada na física, é de autoria de Rutherford e de Frederick Soddy, químico. O importante naquele momento era o conteúdo revolucionário dos estudos desses cientistas para cada área; da mesma maneira, crendo um professor de química ser a história da radioatividade essencial em suas aulas, ele tem neste trabalho de física alguma colaboração e instrumentação para tal inserção.

A eminência do Ano Mundial da Química, em 2011, em comemoração ao centenário do Prêmio Nobel de Química atribuído a Madame Curie, traz à tona não apenas a relevância do tema da radioatividade, mas também a figura da mulher na ciência. É correto afirmar que Madame Curie foi uma das primeiras pessoas a ganhar um Prêmio Nobel em áreas científicas. Porém, uma mulher foi novamente laureada apenas em 1935 – 32 anos após o primeiro prêmio de Marie e, ironicamente talvez, a filha mais velha do casal, Irène Joliot-Curie.

Na literatura, várias mulheres figuram como exemplos de injustiças do Prêmio Nobel. McGrayne (1995), por exemplo, dedica seu livro a dois nomes de extrema importância para a Medicina, Hilde Proescholdt Mangold e Frieda Robscheit-Robbins, que não receberam o devido reconhecimento por seus trabalhos; Chassot (1997) menciona que dos cem nomes mais importantes e influentes da história da humanidade, numa pesquisa elaborada por Michael Hart, apenas dois são de mulheres. E as três mulheres que trouxeram as maiores contribuições para a física do século passado – Marie Curie, Lise Meitner e Maria Goeppert Mayer, segundo o autor – sequer são citadas. Destas três, uma delas não recebeu o Prêmio Nobel que merecia: Lise Meitner, na descoberta da fissão nuclear. Apenas seu colega Otto Hahn foi laureado pela pesquisa inicial nessa área de estudo.

Os motivos da escassez feminina nas ciências têm sido largamente tratados; no entanto, o produto essencial de tantas pesquisas sobre o assunto deve ser a inclusão. Essa discussão pode extrapolar a questão do gênero e adentrar outras tantas minorias, que certamente guardam seus grandes talentos e que a ciência moderna, no entanto, se dá ao luxo de ignorar. Por este motivo, é de grande importância remeter-se a Whitaker (1979), pois a utilização exclusiva das Conferências Nobel acaba restringindo o estudo apenas aos trabalhos mais

reconhecidos. Adiciona-se aqui que a decisão do que é ou não bem-sucedido cabe a um comitê, que apesar de levar em conta a opinião dos grandes cientistas por todo o mundo, tem a palavra final na decisão do merecedor do prêmio.

Deve-se fazer uma ressalva importante: este trabalho pretende gerar subsídios relevantes para as discussões do professor com seus alunos, que possam ser levados à sala de aula da maneira que o professor preferir ou se sentir confortável. Entretanto, é essencial esclarecer que, especialmente ao tratar das categorias de imagens deformadas do trabalho científico, o professor deve explorá-las, frisá-las e esclarecer onde elas aparecem no exemplo histórico.

A presente discussão, é claro, não tem a intenção de esgotar as possibilidades de abordagem didática das duas conferências. Por exemplo, no âmbito epistemológico, e particularmente no caso da conferência de Marie Curie, caberia discutir o uso recorrente do termo *provar*, trazendo Popper (1982) à discussão.

Enfim, este trabalho teve por objetivo propor uma abordagem sobre certos aspectos históricos da radioatividade. Conforme já foi citado, muito pouco foi produzido sobre o assunto para propósitos educacionais, apesar da importância extraordinária que ele teve para o desenvolvimento de outras áreas da física. A gênese da radioatividade esteve intimamente ligada à descoberta dos raios X; a procura pela compreensão de sua natureza esteve fortemente ligada com o desenvolvimento de modelos atômicos; a radioatividade deu origem às física e química nucleares; as pesquisas em radioatividade chegaram ao conceito de isótopos e culminaram com a descoberta do núcleo, do nêutron e da radioatividade artificial. A mecânica quântica acabou emprestando sua natureza estatística para as explicações das causas da radioatividade, permitindo que os cientistas parassem de se preocupar em explicá-las e direcionassem seus esforços em pesquisas frutíferas com materiais radioativos (BADASH, 1979). A energia emitida em um decaimento radioativo faz uso da equivalência massa-energia, do corpo conceitual da relatividade restrita. Ou seja, de alguma maneira, a radioatividade faz conexão com várias frentes do que conhecemos como física moderna.

Além dos trabalhos desenvolvidos pelo casal Curie, o professor interessado em levar a radioatividade para a sala de aula tem nos trabalhos de Rutherford, Soddy e outros, uma ‘sequência natural’, com a teoria da desintegração, as emissões alfa, beta e gama, a descoberta dos isótopos, do núcleo atômico etc. Este mesmo professor poderá encontrar novos subsídios para uma possível instrumentalização desse assunto em

outro artigo escrito pelos presentes autores (CORDEIRO; PEDUZZI, 2010).

REFERÊNCIAS

ANELE, A. C. **O enfoque CTS em sala de aula: uma abordagem diferenciada utilizando a Unidade de Aprendizagem na Educação Química**. 2007. 109p. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BADASH, L. Radioactivity before the Curies. **American Journal of Physics**, v. 33, n. 2, p. 128 – 135, fev. 1965.

BADASH, L. The suicidal success of radiochemistry. **The British Journal for the History of Science**, v. 12, n. 3, p. 245 – 256, nov. 1979.

BAGNATO, V. S. Prêmio Nobel de Física 2005: Theodor W. Hänsch, John L. Hall e a espectroscopia de precisão. **Física na Escola**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 36 – 38, out. 2005.

BECQUEREL, H. Sur les radiations émises par phosphorescence. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris**, Paris, v. 122, t. 1, p. 420-421. 1896a.

BECQUEREL, H. Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris**, Paris, v. 122, t. 1, p. 501-503, 1896b.

BECQUEREL, H. Sur quelques propriétés nouvelles des radiations invisibles émises par divers corps phosphorescents. **Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris**, Paris, v. 122, t. 1, p. 559-564, 1896c.

BECQUEREL, H. Émission de radiations nouvelles par l'uranium métallique. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 122, t. 1, p. 1086-1088, 1896d.

CHASSOT, A. Nomes que fizeram a Química (e quase nunca lembrados). **Química Nova na Escola**, n.5, mai. 1997.

CORDEIRO, M. D; PEDUZZI, L. O. Q. Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. **Artigo submetido à publicação**, 2010.

CURIE, E. **Madame Curie**. Tradução: Monteiro Lobato. 11 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1962.

CURIE, P. Radioactive Substances, especially Radium. In: **Nobel Lectures, Physics 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1967.

CURIE, M. Radium and the new concepts in chemistry. In: **Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1966.

ERDURAN, S. et al. Developing epistemologically empowered teachers: examining the role of philosophy of chemistry in teacher education. **Science and Education**, Holanda, v. 16, n. 9 – 10, p. 975-989, out. 2007.

ESHACH, H. The Nobel Prize in Physics Class: Science, History and Glamour. **Science and Education**, Holanda. Publicada online, ago. 2008. Disponível em <<http://www.springerlink.com> > Acesso em: 17 mai. 2009.

FELDMAN, B. **The Nobel Prize**. 1. ed. Nova York: Arcade Publishing, 2000

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, São Paulo, v.7, n.2, p. 125 – 154, 2001.

KAUFFMANN, G. B. The Nobel Centennial 1901 – 2011. **Chemical Educator**, v. 6, n. 6, p. 370 – 384, 2001.

KNOBEL, M.; MACEDO, W. A. A. O Prêmio Nobel da física de 2007, gravação magnética e spintrônica. **Física na Escola**, São Paulo, v.8, n.2, p. 33 – 35, out. 2007.

KOEPSSEL, R. **CTS no ensino médio: aproximando a escola da sociedade**. 2003. 101p. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

KRAGH, H. The origin of radioactivity: from solvable problem to unsolvable non-problem. **Archive for History of Exact Sciences**, Berlin/Heidelberg, v. 50, n. 3-4, set. 1997.

KRAGH, H. Conceptual changes in chemistry: the notion of a chemical element ca. 1900 – 1925. **Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, v.31, n.4, dez. 2000.

MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 7 (numero especial), p. 27 – 45, 1990.

MARTINS, R. A. Becquerel and the Choice of Uranium Compounds. **Archives for History of Exact Sciences**, Berlin/Heidelberg, v. 51, n. 1, p. 67-81, mar. 1997.

MARTINS, R. A. As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos. **Revista da SBHC**, n. 1, p. 29 – 41, 2003.

MARTINS, R. A. Ciências versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In: ALFONSO-

GOLDFARB, A. M; BELTRAN, M. H. R. (eds). **Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: EDUC / Livraria da Física / FAPESP, 2005, p. 115 – 145.

MATOS, J. A. M. G. et al. Ensino de disciplinas de história da química em cursos de graduação. **Química Nova**, v. 14, n. 4, p. 295 – 299, 1991.

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, dez. 1995.

MCGRAYNE, S. B. **Mulheres que ganharam o Prêmio Nobel em Ciências: suas vidas, lutas e notáveis descobertas**. Tradução: Maiza F. Rocha e Renata Brant de Carvalho. São Paulo: Marco Zero, 1995.

MIZRAHI, S. S. Prêmio Nobel de Física de 2005: Roy J. Glauber, o fundador da óptica quântica teórica. **Física na Escola**, São Paulo, v.6, n.2, p. 36 – 38, out. 2005.

OSTERMANN, F. **Tópicos de Física Contemporânea e escolas de nível médio e na formação de professores de física**. 2000. Tese (Doutorado em Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

OSTERMANN, F., MOREIRA, M.A Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v.5, n.1, p. 23 – 48, jan. 2000.

OWENS, T. Going to school with Madame Curie and Mr. Einstein: gender roles in children’s science biographies. **Cultural Studies of Science Education**, Holanda. Publicado online, fev. 2009. Disponível em <www.springerlink.com> Acesso em: 17 mai. 2009.

PASACHOFF, N. **Marie Curie and the science of radioactivity**. Oxford University Press, 1996. Disponível em: <<http://www.aip.org/history/curie/contents.htm>> Acesso em: 17 mai. 2009.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Publicação interna. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 202 p.

POPPER, K. R. **Conjecturas e refutações**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1982.

REID, R. **Marie Curie Derrière la Légende**. Tradução: M-F Palomera. Paris: Éditions du SUEILS, 1979.

ROCHA-FILHO, R. C. Camada de ozônio dá Nobel. **Química Nova na Escola**, n. 2, nov. 1995.

RUTHERFORD, E.; SODDY, F. The cause and nature of radioactivity. **Philosophical Magazine**, v. 4, p. 370-396, 1902.

SILVA, A. P. **Alguns aspectos do percurso de Marie Curie (1867-1934) em seus estudos sobre as radiações.** 2004. 112p. Dissertação (Mestrado em História da Ciência) Pontifícia Universidade Católica, São Paulo.

SILVA, G. J. **Epistemologia em uso: imagem da ciência em livros didáticos de Química.** 2007. 289p. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TERRAZAN, E. A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.9, n.3, p. 209 – 214, dez. 1992.

WHITAKER, M. A. B. History and quasi-history in physics education – part 2. **Physics Education**, v.14, n. 4, p. 239 – 242, mai. 1979.

WOODALL, A. J. Science History: the place of the history of science in science teaching. **Physics Education**, v.2, n. 6, nov. 1967

CAPÍTULO 3

Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade

3 ASPECTOS DA NATUREZA DA CIÊNCIA E DO TRABALHO CIENTÍFICO NO PERÍODO INICIAL DE DESENVOLVIMENTO DA RADIOATIVIDADE

3.1 RESUMO

Neste trabalho apresenta-se um estudo histórico do período de desenvolvimento da radioatividade, de 1899 a 1913, como referencial capaz de subsidiar discussões relativas à natureza da ciência e a aspectos do trabalho científico compartilhadas por correntes epistemológicas pós-positivistas. No âmbito da física moderna, a radioatividade e sua história têm sido bastante negligenciadas pela literatura especializada. Nessa perspectiva, espera-se contribuir para uma formação mais crítica e atual de futuros docentes e cientistas.

Palavras-chave: Radioatividade. História e Filosofia da Ciência. Características do Trabalho Científico.

3.2 INTRODUÇÃO

Ao fim do século 19, surgiram fenômenos inimagináveis, que estremeceram as bases da ciência até então conhecida. Com o advento do elétron, da radiação X e da radioatividade, os cientistas imediatamente devotaram imensos esforços para compreendê-los. Como a física clássica não conseguia responder as dúvidas que esses fenômenos suscitavam, uma nova ciência passou a ser construída.

O resultado, como se sabe, culminou em novas concepções científicas. Notou-se que a estrutura mais fundamental da matéria, o átomo, era composta de estruturas ainda menores, e guardava consigo enorme energia, conceito que recentemente passara a ser compreendido como uma grandeza não mais contínua, mas, sim, discreta.

Foram tantas as abstrações e idealizações necessárias para que esse salto científico fosse dado, que logo a física se tornou, para muitos, um conhecimento de difícil alcance. Ainda hoje, na educação científica brasileira, há uma predileção pelo ensino dos conceitos e fenômenos clássicos, em detrimento daqueles pertencentes às chamadas físicas moderna e contemporânea (TERRAZAN, 1992). Dentre aqueles que se sentem desconfortáveis com essa situação, encontram-se professores, certos autores de livros didáticos – talvez motivados pela implementação dos PCNEM (BRASIL, 2006) – e formuladores de currículo mais preocupados com a atualização dos conteúdos curriculares. Mesmo assim, mais de um século se passou desde o

nascimento da física moderna, mas esse conhecimento não tem chegado à sala de aula, ao menos com a intensidade desejada.

Phillipp Frank, em artigo de 1947 ao *American Journal of Physics*, intitulado “*O lugar da Filosofia da Ciência no Currículo do Estudante de Física*”, lançava seu olhar sobre o assunto, especialmente no que concerne à formação científica, tanto de professores de física quanto de físicos, e levantava a possibilidade de se conseguir atingir esse objetivo através da exposição e da discussão de tópicos relativos à filosofia da ciência. É relevante comentar que, apesar de passados mais de sessenta anos desde o mencionado trabalho, suas conclusões ainda ecoam na pesquisa em educação científica, pois ele foi publicado novamente, em 2004, na revista *Science & Education*.

Para Frank (2004), esse é um problema cíclico. É da natureza da física – ou do processo de compreender a física – provocar reflexões de cunho epistemológico e ontológico sobre seus conceitos, particularmente quando estão em curso rupturas significativas no conhecimento vigente. Essas reflexões não raro se provam desconfortáveis para aluno e professor não familiarizados à filosofia e, desse modo, é compreensível que não encontrem seu espaço nas aulas de ciências. Como resultado, o aluno aprende uma física fragilizada em suas bases conceituais e, ao se tornar ele mesmo professor, propaga uma ciência da mesma fragilidade a seus alunos.

Os problemas nas estruturas conceituais provocados pela ausência da contextualização histórico-filosófica não ficam restritos à formação de professores de física, mas atingem também a formação dos futuros cientistas. Deve-se questionar a pertinência de uma formação científica não-reflexiva. Quais suas limitações? Certamente, para o aluno de uma ciência aplicada, como um estudante de engenharia, refletir sobre a natureza dos conceitos físicos não teria maior impacto sobre sua atividade profissional como engenheiro – embora seja, para qualquer pessoa, desejável a compreensão de seu objeto de trabalho. Apesar deste ponto, não se deve descartar a contextualização na formação científica aplicada, sendo, talvez, mais pertinente e desejável que o futuro engenheiro também entenda que sua ciência deva ser contextualizada social e tecnologicamente, dados seus impactos diretos nessas duas outras esferas.

Todavia, no caso do cientista em formação, a reflexão ontológica e epistemológica ultrapassa a barreira do desejável e se torna quase essencial. Novamente, como no caso do engenheiro em formação, não se pode afirmar que um cientista verá uma grande mudança nos resultados de suas pesquisas se tiver uma postura filosófica frente à

ciência que produz. Porém, pode-se esperar que esse comportamento lhe confira uma maior clareza sobre e a pertinência de seu empreendimento. Essa clareza pode ajudá-lo a compreender sua posição dentro da comunidade científica e emergir de simples parte da grande engrenagem científica para um local que lhe dê uma visão mais panorâmica dos objetivos da ciência como um todo naquele contexto em que ele trabalha.

Para Frank (2004, p. 100), se aqueles alunos, ao mostrarem um interesse filosoficamente mais profundo por certos fenômenos e conceitos científicos, não conseguirem de seus professores respostas que os satisfaçam, podem procurá-las em outros meios.

O desejo de integração do conhecimento está enraizado profundamente na mente humana. Se não for cultivado pelo professor de ciências, [o estudante] procurará [respostas] em outras locais. O aluno sedento bebe seu gole espiritual onde lhe for oferecido. Se ele tiver sorte, conseguirá a informação de revistas populares ou colunas científicas em jornais. Mas pode ser pior, e ele se tornar uma vítima de pessoas que interpretam a física recente a serviço de alguma ideologia vã, que em muitos casos são ideologias anti-científicas.

Não apenas os licenciandos estão em formação para se tornarem professores; na conjuntura brasileira, também os bacharéis ensinarão física. No Brasil, a pesquisa científica é feita predominantemente nas universidades, onde o pesquisador deve dedicar horas à atividade docente. Assim, pode-se perceber que a prática reflexiva tem um peso ainda maior sobre esse estudante, que se forma pesquisador e professor de futuros pesquisadores e professores de ciências.

Essa é uma faceta do problema que vem sendo relegada na produção acadêmica de ensino de ciências, que tem se dedicado mais à formação média e do professor, esquecendo também dos cientistas em formação. O grande escritor britânico H. G. Wells – um entusiasta da ciência do século 20 –, já na década de 1930, observava que “*ninguém pode ser bom professor quando seu assunto torna-se inexplicável*” (WELLS, 1934, apud FRANK, 2004).

H. G. Wells demonstrou um grande interesse pela radioatividade, o que reflete bem o quanto os fenômenos dessa área da física têm certo magnetismo. As possibilidades práticas do conhecimento da radioatividade são imensas, capazes, como se prova no

exemplo de H. G. Wells, de inspirar grandes ficções científicas. E é bastante interessante observar que a radioatividade em si, assim como a formação filosófica do bacharel, também tem sido negligenciada pela literatura acadêmica de ensino de ciências.

Ostermann e Moreira (2000), em um mapeamento da produção nacional e internacional sobre inserções de física moderna e contemporânea no Ensino Médio desde a década de 1980, apontam para apenas seis trabalhos sobre radioatividade. Em uma revisão bibliográfica similar mais recente, Pereira e Ostermann (2009) notaram um aumento considerável na produção sobre radioatividade, mas ainda irrisório na comparação com outros temas de física moderna e contemporânea, como a relatividade e a mecânica quântica. Esses números se referem às pesquisas em inserções no Ensino Médio. Certamente, os números são ainda menores em se tratando de propostas para o Ensino Superior.

Dos trabalhos mencionados acima, todos acabam tratando dos aspectos práticos da radioatividade, seja para a geração de energia, seja pelas catástrofes que ela pode causar. São poucos os artigos que demonstram uma preocupação com as possibilidades educacionais da abordagem histórica e filosófica da radioatividade. Contudo, há alguns trabalhos específicos de historiadores da ciência sobre o assunto. Na literatura brasileira, Martins (1990, 1998, 2003, 2004, 2005) se dedicou ao tema; entretanto, seus trabalhos se restringem à descoberta do fenômeno por Henri Becquerel e aos trabalhos de Marie e Pierre Curie, ou seja, sobre o período da gênese da radioatividade.

Mas a radioatividade, em seus primeiros anos, não se esgota em sua gênese. Ela tem todo um desenvolvimento no qual, além dos Curies, há muitos outros cientistas que apresentam contribuições importantes para o seu contínuo entendimento. Ernest Rutherford, na física, é o personagem central do que se poderia denominar de *segundo período* da radioatividade. O que se chama neste artigo de *período de desenvolvimento da radioatividade* é o período em que foram dedicados esforços para a compreensão de sua natureza, como propõe Kragh (1997). As descobertas dos três tipos de radiação e suas explicações, da isotopia e do núcleo fazem parte deste período.

É bem verdade que a figura de Marie Curie parece ser um fator atrativo e motivador, não apenas entre os cientistas, mas do público em geral (OWENS, 2009). Entretanto, há aspectos da biografia de Rutherford que têm potenciais igualmente magnéticos e que também podem atuar como fortes motivadores educacionais. Como ressalta Badash (1969, p. 8)

Desde seu primeiro trabalho sobre a radioatividade, Ernest Rutherford foi a figura central nessa ciência. Não foi Becquerel, os Curies, Soddy, Hahn, Bohr ou outros grandes nomes, e, sim, Rutherford, que liderou o campo de talentosos físicos e químicos no empreendimento de provar a questão mais fundamental da ciência: Qual a natureza da matéria?

Assim, em uma tentativa de fornecer subsídios para uma formação em nível superior mais contextualizada filosófica e historicamente, este artigo alia uma breve biografia científica de Rutherford à história desse segundo período das pesquisas em radioatividade. O fato de que a radioatividade é um fenômeno de fronteira entre Física e Química estende o alcance deste trabalho, que também pode instrumentar a formação superior do químico. Em um segundo momento, confronta-se a radioatividade com certas interpretações filosóficas compartilhadas por correntes epistemológicas pós-positivistas, discutidas por Gil-Pérez et al (2001).

Cabe ressaltar que outra figura central no desenvolvimento da radioatividade, na química, mais especificamente, foi Frederick Soddy, a cujas pesquisas este trabalho faz menção sistematicamente. Contudo, as potencialidades educacionais da vida e da obra desse cientista não são aqui aprofundadas. Não obstante, os conteúdos abordados no presente artigo, articulados com discussões fundamentadas em seu famoso livro “A química dos elementos radioativos” (SODDY, 1975), e em biografias e coletâneas de trabalhos, como Trenn (1975), podem se constituir em um bom ponto de partida para esse fim.

3.3 MCGILL, MANCHESTER E CAMBRIDGE

Alguns cientistas são lembrados por uma única extraordinária descoberta. Uma medida da grandiosidade de Rutherford é que a ele se pode creditar, ao menos, três (BADASH, 1969).

Rutherford é considerado hoje o maior físico experimental de todos os tempos, talvez tendo Faraday como único possível rival. Seu papel na ciência da virada do século foi impressionante. Nascido na Nova Zelândia em 31 de agosto de 1871, conseguiu uma bolsa de estudos na Universidade de Cambridge, para trabalhar sob a orientação de J. J. Thomson em pesquisas, que já conduzia anteriormente em sua terra natal, sobre a ionização de gases. Com a constatação de Becquerel,

de que os raios de urânio também tinham a capacidade de ionizar o ar da vizinhança, a radioatividade entrou na pauta de pesquisas de Rutherford.

Em 1898, já com certa notoriedade, Rutherford foi convidado a ocupar uma posição de professor na Universidade de McGill, em Montreal. Segundo Oliphant (1972), ele aceitou o cargo por duas razões principais. O interesse da Universidade de McGill em se consagrar cientificamente possibilitava a Rutherford liberdade e autonomia para gerir suas pesquisas, além de uma remuneração atraente – que, dentre outras coisas, lhe permitiria casar com sua noiva, que continuava na Nova Zelândia.

Trabalhando no fenômeno da radioatividade, Rutherford soube criar uma boa equipe, que teve como membros químicos que futuramente se tornariam renomados como Frederick Soddy, Otto Hahn e Bertram Boltwood. Foi em parceria com Soddy que fez a primeira de suas três grandes descobertas: a desintegração atômica dos elementos (1902, 1903). Suas outras contribuições, feitas nos laboratórios daquela universidade, foram a classificação das radiações em alfa e beta, a enunciação do conceito de meia-vida e a constatação da carga positiva das partículas alfa.

Apesar de todos os fomentos oferecidos pela universidade canadense, Rutherford aceitou o convite da Universidade de Manchester para ocupar o lugar de Sir Arthur Schuster, em 1907. Lá, por doze anos, continuou suas pesquisas em radioatividade, cercado de outros tantos renomados cientistas. Trabalhou com Hans Geiger e Ernest Marsden na interpretação de experimentos sobre o espalhamento de partículas alfa, culminando com o modelo atômico nuclear, sua segunda grande contribuição na ciência da radioatividade. Badash (1969) ressalta outra grande conquista de Rutherford nos laboratórios de Manchester: as descobertas de outros grandes cientistas. Trabalharam com ele, ou foram seus alunos durante os tempos de Manchester, Niels Bohr, Henry Moseley, James Chadwick, Kasimir Fajans e George von Hevesy.

Com a Primeira Guerra Mundial, Rutherford viu seus esforços parcialmente desviados. Ele se tornou membro da Comissão de Invenções e Pesquisas do Reino Unido, trabalhando em métodos de detecção de submarinos. Mas suas pesquisas sobre a estrutura da matéria prosseguiram e, em 1919, publicou seus experimentos de bombardeamento de nitrogênio por partículas alfa, cuja explicação culminou em sua terceira grande descoberta, a desintegração artificial.

Nesse mesmo ano, Rutherford foi convidado a lecionar na Universidade de Cambridge, dirigindo o Laboratório Cavendish, onde trabalhou até sua morte. Lá, muitos de seus estudantes tornaram-se

também renomados cientistas, como Patrick Blackett, John Cockroft, Ernest Walton e Pyotr Kapitsa, que foram laureados com o Prêmio Nobel (1948, 1951, 1951 e 1978).

Se tomar-se o Prêmio Nobel como medida, Rutherford é um dos maiores nomes na história da premiação. Esteve sempre cercado de nobelistas, fossem eles seus alunos ou parceiros de pesquisas. Para Feldman (2000), ter Rutherford como mentor certamente aumentava as chances de um cientista entrar para este seleto grupo. O autor menciona que Rutherford, já membro do Comitê de Ciências da premiação, defendeu veementemente que Chadwick recebesse o Prêmio Nobel de Física sozinho, pela descoberta do nêutron. O casal Joliot-Curie, que o detectara antes dele, mas sem sua compreensão total, não dividiu o prêmio. Rutherford não deixou de defendê-los, enfatizando serem tão brilhantes que certamente surgiria sua oportunidade de serem premiados novamente – o que aconteceu no ano seguinte, com a descoberta da radioatividade artificial.

É interessante frisar que Rutherford, nobelista em 1908, foi laureado na área de Química. Segundo Eisberg e Resnick (1979), em seu discurso ao receber o prêmio, disse ter “*observado muitas transformações em seu trabalho com radioatividade, mas nunca uma tão rápida quanto a sua, de físico para químico*” (p. 125). O fato ganha novas facetas quando se percebe que Rutherford, ironicamente afirmava ser a Química apenas uma ramificação da Física (FELDMAN, 2000).

Esse tipo de comentário, apesar de parecer grosseiro por parte do físico, é algo que caracteriza sua enorme personalidade. E não apenas os químicos eram alvo de suas ácidas observações, mas também os físicos teóricos. Oliphant (1972, p. 28) menciona ter ouvido Rutherford falar a Heisenberg, após suas conferências em Cambridge: “*Estamos muito agradecidos por sua exposição sobre muitas coisas interessantes sem sentido, o que é bastante sugestivo.*” Seus pupilos e colaboradores, dentre eles, o próprio Oliphant, entretanto, frisam que, apesar de parecerem enormemente sarcásticos, seus comentários eram reflexos de sua afeição por esses cientistas. O mesmo pode ser estendido aos químicos, dada sua ótima relação com muitos deles e, em especial, com Boltwood (BADASH, 1969).

3.4 UM HISTÓRICO DA RADIOATIVIDADE: DA DESINTEGRAÇÃO ATÔMICA À ISOTOPIA

Já no início de 1896, Henri Becquerel, ao investigar a conjectura de Henri Poincaré sobre a relação entre a luminescência e a emissão de

raios X, primeiramente testemunhados no final do ano anterior por Röntgen, observou, dentre vários materiais que tinha à sua disposição, que os compostos luminescentes de urânio também emitiam um tipo de radiação, diferente da radiação que procurava. Em 18 de maio daquele ano, Becquerel nota que também o urânio metálico, reconhecidamente não luminescente, emitia as radiações observadas anteriormente. Becquerel também descobriu que as radiações do urânio, além de impressionarem chapas fotográficas, também tinham a capacidade de ionizar o ar à sua volta. (BECQUEREL, 1896; MARTINS, 1997)

No ano de 1896, Becquerel comunicou à Academia Francesa de Ciências sete trabalhos sobre suas pesquisas com compostos luminescentes, sendo seis no primeiro semestre. No ano seguinte, publicou apenas dois resultados nesse tipo de pesquisa, no primeiro semestre. Sua única comunicação no segundo semestre de 1897 foi sobre o efeito Zeeman. A interpretação errônea do fenômeno – de que se tratava de um tipo de luminescência invisível – pode ter sido o motivo do esgotamento do interesse do físico no assunto. Aquele tipo de radiação ficou conhecido como radiação de urânio, ou radiação de Becquerel, até 1898. (MARTINS, 1997; BADASH, 1965; BECQUEREL, 1896)

Ainda em 1897, Marie Curie, esposa de Pierre Curie, um físico pouco prestigiado na época, decidiu fazer doutorado. Como tema para sua tese, escolheu as radiações de urânio, que pouca agitação causaram na esfera científica francesa – e mesmo mundial, já que pesquisas sobre o fenômeno, impulsionadas pelos raios X, foram feitas também na Inglaterra e nos Estados Unidos da América. (CURIE, E., 1962)

Seu primeiro passo foi de procurar na natureza outros materiais que pudessem emitir o mesmo tipo de radiação que o urânio metálico produzia. Descobriu que o tório e seus compostos tinham a mesma capacidade. Na Alemanha, Schmidt também fizera a mesma observação, comunicando-a à Sociedade de Física de Berlim em 4 de fevereiro de 1898. Seu trabalho foi apresentado à Academia Francesa de Ciências por Gabriel Lippmann em 2 de maio de 1898 (SCHMIDT, 1898). Antes dessa apresentação, Lippmann também comunicou os resultados de Madame Curie, em 12 de abril, que trazia não apenas a descoberta da radiação do tório, mas muitas de suas hipóteses que forneceram as bases para a compreensão desse novo fenômeno (CURIE, M; 1898).

Nesse trabalho, Marie Curie explica que utilizou a propriedade da radiação do urânio de ionizar o ar em sua vizinhança, descoberta por Henri Becquerel, para procurar se outras substâncias apresentariam o mesmo efeito. Como essa ionização produz uma corrente elétrica, com o

auxílio de um aparelho desenvolvido por Pierre Curie e seu irmão – composto de um eletrômetro e de um quartzo piezelétrico – Marie fez o teste em várias substâncias e tomou nota das correntes produzidas. Na tabela que expõe nesse trabalho, pode-se constatar que Marie Curie já havia testado não apenas o tório, mas também a calcolita natural e sintética – notando que elas produziam diferentes correntes de ionização. A partir da tabela, ela conclui que

Todos os compostos do urânio estudados são ativos e são, em geral, na proporção em que contêm o urânio. Os compostos do tório são muito ativos. O óxido de tório é até mais ativo que o urânio metálico. [...] Dois minerais de urânio: a pechblenda (óxido de urânio) e a calcolita (fosfato de cobre e urânio) são muito mais ativos que o próprio urânio. Este fato é muito interessante e leva a crer que esses minerais possam conter um elemento mais ativo que o urânio. Eu reproduzi a calcolita pelo procedimento de Debray com produtos puros; essa calcolita artificial não é mais ativa que qualquer outro sal de urânio (CURIE, M., 1898, p. 1102).

Já nessa primeira comunicação, Marie expõe quase todos os dados que a levaram, juntamente com Pierre Curie, a procurar exaustivamente por esse elemento hipotético, que mais à frente descobriu-se serem dois: o polônio e o rádio. A descoberta desses novos elementos, especialmente do rádio, consolidou a radioatividade. Ainda mais importante foi seu reconhecimento – que já encontra vestígios nessa comunicação – de que a atividade desses materiais era uma propriedade atômica da matéria.

Com a descoberta dos novos elementos nos minerais de urânio, o fenômeno da radioatividade teve finalmente as atenções dos cientistas voltadas para si. Na Universidade de McGill, no Canadá, Rutherford conduz diversos experimentos de natureza elétrica com o urânio e publica, em janeiro de 1899, um trabalho na *Philosophical Magazine* com os resultados obtidos. Dentre eles, pela primeira vez, surgem as denominações alfa e beta para dois tipos de radiações.

O experimento consistia na medição da radiação que ultrapassava diversas camadas finas de metal. Rutherford conclui:

Esses experimentos mostram que a radiação do urânio é complexa e que estão presentes ao menos

dois tipos distintos de radiação – uma que é muito rapidamente absorvida, que será denominada, por conveniência, de radiação alfa, e a outra, de caráter mais penetrante, que será chamada radiação beta (RUTHERFORD, 1899, in CHADWICK, 1962, p. 176).

Ao proferir sua Conferência Nobel, em 1908, Rutherford aponta para a inclinação dos cientistas em estudar primeiramente as radiações beta, pela sua capacidade de penetração muito maior. Vários experimentos de natureza magnética passaram a ser feitos e, dessa maneira, Friedrich Oskar Giesel, químico alemão, em 1899, identificou que a deflexão dos raios beta num campo magnético ocorria na mesma direção que a deflexão dos raios catódicos, o que o levou a inferir que a radiação beta teria carga negativa (RUTHERFORD, 1966).

Com a disponibilidade dos sais de rádio para pesquisa, muitos cientistas puseram-se a experimentar também com esses compostos, que emitiam raios muito mais intensamente. No contexto francês, por exemplo, no primeiro semestre do ano de 1900, oito comunicações são feitas à Academia Francesa de Ciências quanto aos efeitos de campos elétricos e magnéticos sobre as radiações do rádio (CURIE, P., 1900; CURIE, M., 1900; CURIE, P.&CURIE, M., 1900; BECQUEREL, 1900a, 1900b, 1900c, 1900d; VILLARD, 1900). Numa dessas comunicações, Becquerel mostra a identidade entre partícula beta e os elétrons, com o resultado de suas medições de massa e velocidade para essa partícula (RUTHERFORD, 1966). Entretanto, Becquerel ainda não utiliza o termo “elétron”, nem tampouco chama essas radiações de partículas beta, tratando-as como “raios desviáveis”⁶.

Apesar de alguns anos depois se saber que os raios alfa também são desviáveis por um campo magnético, os recursos da época mantiveram esse fenômeno às escuras. O que realmente atraiu a atenção dos cientistas naquele momento foi a constatação de que aquelas radiações pouco penetrantes que Rutherford classificou como alfa eram responsáveis pela *“maior parte da ionização observada na vizinhança de uma substância radioativa e que a maior parte da energia irradiada*

⁶ Nas conclusões de seu artigo “The cause and nature of radioactivity”, de 1902, Rutherford e Soddy, fazem a seguinte afirmação: “Sr. Becquerel [...] aponta para a significância do fato de que o urânio emite raios catódicos. Estes, de acordo com a hipótese de Sir William Crookes e Professor J. J. Thomson, são partículas *materiais*, cuja massa é um milionésimo da massa do átomo de hidrogênio” (grifo dos autores).

era na forma de raios alfa” (RUTHERFORD, 1966, paginação eletrônica).

Por ocasião do recebimento do Prêmio Nobel, Rutherford proferiu sua conferência, intitulada “*A natureza química das partículas alfa de substâncias radioativas*”. Ali, Rutherford traz a história da compreensão dessas partículas com riqueza de detalhes. Em um trecho da conferência, ele descreve as primeiras pesquisas sobre o assunto:

O crescente reconhecimento da importância dos raios alfa nos fenômenos radioativos levou a tentativas de determinação da natureza desse tipo de radiação facilmente absorvível. Sturr (Lord Rayleigh) em 1901 e Sir William Crookes em 1902 sugeriram que elas poderiam possivelmente provar-se como partículas projetadas carregando uma carga positiva. Eu cheguei à mesma conclusão independentemente, a partir da consideração de uma variedade de evidências. Se este fosse o caso, os raios alfa deveriam ser defletidos por um campo magnético. Trabalhos preliminares mostraram que a deflexão era bastante modesta, se ao menos ocorresse. Experimentos continuaram por um período de dois anos e não foi antes de 1902, quando uma preparação de rádio de atividade 19.000 estava disponível, que pude mostrar conclusivamente que as partículas eram defletidas por um campo magnético, apesar de serem em um grau de minutos em uma comparação com os raios beta. Isso mostrava que os raios alfa consistiam de partículas carregadas projetadas, enquanto a direção de deflexão indicava que cada partícula carregava uma carga positiva. Além disso, mostrou-se que as partículas alfa também defletem num campo elétrico e a partir da magnitude da deflexão, deduziu-se que a velocidade da partícula mais rápida era cerca de $2,5 \times 10^9$ cm/s, ou uma parte em doze da velocidade da luz, enquanto o valor de e/m^7 – a razão entre a carga e a massa da partícula – foi descoberta ser 5,000 unidades eletromagnéticas. Agora se sabe, a partir dos dados da eletrólise da água, que o valor de

⁷ Apesar de atualmente se compreender a notação e/m como a razão carga/massa do elétron, Rutherford utiliza-a sistematicamente em sua Conferência Nobel como notação genérica.

e/m do átomo de hidrogênio é 9650. Se a partícula alfa carregasse a mesma carga positiva que a unidade fundamental de carga do átomo de hidrogênio, via-se que a massa da partícula alfa era cerca de duas vezes maior que a do hidrogênio. Juntamente à complexidade dos raios, reconhecia-se que os resultados eram apenas aproximados, mas os experimentos indicavam claramente que a partícula alfa era atômica em massa e se poderia provar por fim ser ou o hidrogênio ou o átomo de hélio ou ainda o átomo de algum elemento desconhecido de peso atômico leve. Esses experimentos foram repetidos por Des Coudres em 1903 com resultados similares, enquanto Becquerel mostrou a deflexão dos raios alfa em campos magnéticos pelo método fotográfico (RUTHERFORD, 1966, paginação eletrônica).

Nesse trecho, Rutherford já expressa haver indícios de que a partícula alfa fosse de natureza atômica e, de maneira ainda mais importante, de que seria um átomo de algum elemento leve. A inclinação ao átomo de hélio encontrou apoio nos experimentos químicos de William Ramsay e Frederick Soddy, que fizeram análises espectrais conforme observavam a atividade da emanção do rádio. Decorridos alguns instantes, o espectro do hélio aparecia, com linhas muito bem definidas (RAMSAY; SODDY, 1903).

Outro suporte para a hipótese da identidade entre a partícula alfa e o átomo de hélio eram os cálculos da massa de hélio produzida pelos elementos radioativos e da quantidade de partículas alfa expelidas por eles. Esses cálculos apontavam para duas possibilidades: a de a partícula alfa ser a molécula de hidrogênio, ou de ela ser o átomo de hélio (RUTHERFORD, 1966).

Aquela radiação, que primeiramente fora relegada, passava a mostrar sua verdadeira importância para os fenômenos radioativos. Foi somada às evidências de que a partícula alfa teria natureza atômica a questão da energia envolvida nos processos radioativos, que muito havia chamado a atenção dos cientistas na época. Em sua Conferência Nobel, Pierre Curie assinalou as duas hipóteses levantadas por ele e Marie Curie, e por ela comunicadas, em 1899 e 1900, quanto à energia gerada nos processos radioativos:

3. Na primeira hipótese, supõe-se que as

substâncias radioativas tomem emprestada de uma radiação externa a energia que elas emitem, e suas radiações seriam uma radiação secundária. Não é absurdo supor que o espaço seja constantemente atravessado por radiações muito penetrantes que certas substâncias seriam capazes de capturar. Segundo trabalhos recentes de Rutherford, Cooke e McLennan, essa hipótese parece ser útil na explicação de parte da radiação extremamente fraca que emana da maioria das substâncias.

4. Na segunda hipótese, pode-se supor que as substâncias radioativas tirem de si mesmas a energia que emitem. As substâncias radioativas estariam então em curso de evolução e se transformariam lenta e progressivamente, apesar da aparente invariabilidade de estado de algumas delas. A quantidade de calor emitido pelo rádio em vários anos é enorme se comparada ao calor emitido em qualquer reação química com a mesma quantidade de matéria. No entanto, esse calor emitido representaria apenas a energia envolvida numa transformação de uma quantidade de rádio tão pequena que não poderia ser notada, mesmo após anos. Isso nos leva à suposição de que a transformação tem muito mais alcance que as transformações químicas ordinárias, que a existência do átomo está em risco e que estamos frente a uma transformação dos elementos (CURIE, P., 1967, paginação eletrônica).

Com essas possibilidades expostas à comunidade científica, Rutherford e Soddy passaram a se debruçar sobre a hipótese de que os elementos radioativos estivessem passando por constantes transformações de caráter atômico, e trabalharam com compostos de rádio, urânio e, especialmente, de tório. A constatação de que a radioatividade do tório se mantinha em equilíbrio levantou a hipótese de que esse fato se devia a dois processos opostos:

1. A produção de novo material radioativo a uma taxa constante pelo composto de tório;
2. O decaimento do poder de radiação do material ativo com o tempo.

A radioatividade normal ou constante possuída pelo tório está em um valor de equilíbrio, onde a taxa de aumento da radioatividade devida à produção de material ativo novo é balanceada pela taxa de decaimento de radioatividade daqueles já formados (RUTHERFORD; SODDY, 1902, paginação eletrônica).

O lançamento da hipótese da desintegração, já na introdução do artigo, é sucedido pela descrição dos trabalhos desenvolvidos por eles para corroborá-la. Foi feita uma série de experimentos nas emanações do tório, especialmente no tório X (hoje reconhecidamente um isótopo do rádio), descrevendo suas características químicas e taxa de produção. Rutherford e Soddy observaram que era possível precipitar o tório com a ajuda da amônia, separando-o do tório X. Apesar disto, o tório X se formava novamente, a uma taxa bem definida.

Ao final de seu último artigo, nas Considerações Teóricas Gerais, eles concluem:

Como, portanto, a radioatividade é um fenômeno atômico e acompanhado por mudanças químicas, nas quais novos tipos de matéria são produzidos, essas mudanças devem estar ocorrendo dentro do átomo e os elementos radioativos devem estar passando por transformações espontâneas. Os resultados até agora obtidos [...] deixam claro que as mudanças em questão são de caráter diferente de qualquer outra anteriormente lidada na química. [...] A radioatividade deve, portanto, ser considerada uma manifestação das mudanças químicas subatômicas (RUTHERFORD; SODDY, 1902, paginação eletrônica).

Eles enfatizam a importância da hipótese lançada em 1898 pelo casal Curie, de que a radioatividade seria uma propriedade atômica da matéria. Ela serviu como guia nos estudos do casal e levou ao descobrimento do rádio; a mesma relevância ela assumiu nas pesquisas de Rutherford e Soddy, que concluem veementemente “*Está bem*

estabelecido que essa propriedade é em função do átomo, e não da molécula”.

“**Soddy:** ‘Rutherford, this is transmutation.’

Rutherford: ‘For Mike’s sake, Soddy, don’t call it transmutation. They’ll have our heads off as alchemists’” (FELDMAN, 2000, p. 134).

A Teoria de Desintegração dos Elementos nascia naquele momento, mas não sem muita cautela por parte daqueles que a defendiam. Para Mendeleev, o pai do sistema periódico, por exemplo, o átomo era definitivamente imutável, e resistiu fortemente à nova teoria, acreditando que as novas descobertas, como o elétron e a radioatividade, não passavam de alquimia (KRAUGH, 2000). Ele, como outros, encontrava na existência do éter uma explicação para os fenômenos radioativos. Outros utilizavam da primeira hipótese lançada pelo casal Curie, baseados nos trabalhos de Georges Sagnac, sobre a natureza gravitacional das radiações (KRAUGH, 1997).

Soddy ilustra bem o tipo de choque que essa descoberta causava para a Química do início do século 20 em sua Conferência Nobel, proferida em 1922.

Assim, se um químico fosse purificar, digamos, o chumbo da prata e notasse que, sempre que fizesse o processo, a prata se formasse novamente, ele concluiria que o chumbo estava se transformando em prata. O fato de que isso não ocorre está na base da crença na imutabilidade dos elementos (SODDY, 1966).

Em 1911, Marie Curie mostra que essa agitação já cessara entre a maioria dos cientistas:

Esta hipótese [da desintegração atômica], que primeiramente só poderia ser enunciada junto a outras teorias igualmente válidas, obteve importância dominante e finalmente se fortificou em nossas mentes por causa de um corpo de evidências experimentais que a tornava substancial (CURIE, 1966, paginação eletrônica).

É interessante notar que, apesar do título do último e mais famoso artigo sobre a desintegração atômica de Rutherford e Soddy – *A causa e a natureza da radioatividade* – os dois não elucidaram a natureza desses fenômenos. É importante frisar que, apesar das evidências, ainda não fora comprovada a identidade entre a partícula alfa e o átomo de hélio ionizado, e que o modelo atômico nuclear só surgiria dez anos depois.

A compreensão definitiva da natureza da partícula alfa só viria no ano de 1909, quando Rutherford e Royds publicam os resultados de suas pesquisas em um artigo denominado “*A natureza da partícula alfa das substâncias radioativas.*” O artigo começa falando exatamente sobre a dificuldade que se encontrava para comprovar a identidade, apesar das muitas evidências experimentais. Para eles, ela residia no fato de que se atacava o problema através de métodos indiretos, envolvendo considerações sobre a relação carga/massa da partícula alfa ou sobre a carga carregada pelo átomo de hélio.

A prova da identidade da partícula alfa e do átomo de hélio estará incompleta até que se possa mostrar que as partículas alfa, acumuladas independentemente da matéria da qual são expelidas, consistem no hélio (RUTHERFORD; ROYDS, 1909, paginação eletrônica).

Assim, eles desenvolvem um experimento que testava o aparecimento de hélio em um tubo em que foram projetadas partículas alfa. A substância radioativa que as gerava ficava presa em outro tubo fino o suficiente para que as partículas alfa conseguissem atravessá-lo. O hélio e outros produtos radioativos, entretanto, não conseguiam passar de volta.

Esses experimentos ainda mostram conclusivamente que o hélio não poderia ter passado pelas paredes de vidro, sendo derivado das partículas alfa que foram projetadas através delas. Em outras palavras, os experimentos dão a prova decisiva de que a partícula alfa, após perder sua carga, é o átomo de hélio (RUTHERFORD; ROYDS, 1909, paginação eletrônica).

Apesar de esse ser o trabalho considerado definitivo na comprovação da natureza dos raios alfa, Rutherford (1966), em sua já

mencionada Conferência Nobel, fala da identidade com autoridade e segurança, e descreve o mesmo experimento publicado no ano seguinte. É certo que esses experimentos foram conduzidos no ano de 1908, permitindo que o físico os apresentasse em primeira mão à Academia Sueca de Ciências em dezembro daquele ano.

Três anos depois, também em Estocolmo, Madame Curie ainda afirma a significância da descoberta para toda a ciência da radioatividade, por mostrar que matéria estável, no caso o hélio, era formada a partir de matéria instável, o rádio. Ela lembra que todas as descobertas feitas no âmbito da radioatividade se apoiaram na assunção de que esse é um fenômeno atômico (CURIE, M., 1966).

A hipótese atômica da radioatividade foi realmente muito fértil: a partir dela, descobriu-se uma variedade de elementos químicos radioativos, a começar por polônio e rádio. Também a partir dela, desenvolveu-se a teoria da desintegração atômica, um grande choque conceitual para a física e a química da época. Ela ainda rendeu dois outros frutos: a enunciação do conceito de meia-vida e a descoberta da isotopia.

O conceito de meia-vida data de 1900, das pesquisas também de Ernest Rutherford, comunicadas à *Philosophical Magazine*, com compostos de tório. No seu experimento, diversas camadas de papel foram colocadas como obstáculos para as radiações do tório e suas correntes de ionização, medidas. Assim, conseguiu notar o período necessário para que a intensidade de radiação caísse pela metade.

A escolha do elemento tório tem a ver com seu comportamento anômalo, se comparado ao do urânio: suas emanações eram mais fortes. É neste artigo que o termo *emanação* é cunhado – embora não tenha sido ao acaso. Ramsay e Soddy (1903) explicam que termo foi utilizado pela primeira vez por Boyle, na descrição de corpos celestiais, sendo ressuscitado por Rutherford. Dentre os compostos de tório, seu óxido emitia emanações ainda mais fortes.

Foi mostrado por Schmidt que os compostos de tório emitem um tipo de radiação similar em suas ações fotográfica e elétrica às radiações de urânio e de Röntgen. Em adição a esta radiação ordinária, descobri que os compostos de tório emitem partículas radioativas de algum tipo continuamente, que retêm seus poderes radioativos por vários minutos. Essa “emanação”, como será chamada, tem o poder de ionizar o gás em sua vizinhança e de passar por finas camadas de metais e, com grande

facilidade, por espessuras consideráveis de papel (RUTHERFORD, 1900, in CHADWICK, 1962, p. 220).

As emanações passaram a representar um papel fundamental nas pesquisas em radioatividade dali por diante. Nesse primeiro artigo, Rutherford apenas constatou que elas existiam, mas não conseguiu determinar sua natureza; no entanto, não deixou de levantar duas hipóteses: que elas fossem devidas a partículas de poeira fina da substância radioativa emitida pelos compostos de tório, ou que ela se devesse a um vapor emitido por eles. Entretanto, em 1903 Rutherford já solucionara o problema, pois Ramsay e Soddy (1903, p. 204) citam que ele utilizou o termo emanação *“para designar substâncias definidas de natureza gasosa produzidas continuamente a partir de outras substâncias”*.

Os experimentos com tório foram frutíferos não apenas para a Teoria da Desintegração dos Elementos, mas também para a série de pesquisas na química que culminou com a descoberta da isotopia. Na Conferência Nobel de Química de 1922, Frederick Soddy faz uma apresentação detalhada do histórico de estudos que levaram a tal conhecimento, seguido de um resumo, cuja tradução é utilizada aqui como fio condutor para sua exposição. Cada um dos tópicos expressados por Soddy (1966) será destacado em negrito, de maneira a permitir sua melhor distinção de outras citações.

Agora, podemos resumir os vários passos distintos nesta longa e complexa história da origem da concepção e descoberta dos isótopos.

- 1) Há métodos experimentais, somente para os elementos radioativos, que possibilitam que os isótopos sejam perfeitamente reconhecidos, com a combinação pertinente de análises químicas em intervalos apropriados de tempo, onde, devido às mudanças sucessivas dos constituintes, eles podem ser separados, apesar de a análise química sozinha ser incapaz de efetuar essa separação. Essa descoberta é de 1905.**

Em 1905, Sir William Ramsay e Otto Hahn descobrem um produto da desintegração da série do tório, entre o tório e o tório X, ao

tentarem isolar o rádio a partir do minério de tório. Em 1907, outro produto surge na mesma série, o mesotório, entre o tório e o radiotório. No ano seguinte, reconhece-se que o mesotório seria, na realidade, dois produtos distintos, denominados mesotórios I e II. Em 1906, o actínio X é descoberto na série do actínio, e se observa que ele é similar ao tório X. Todas essas descobertas acompanharam tentativas de isolamento de cada um desses novos produtos radioativos. As tentativas bem-sucedidas foram posteriormente identificadas com o tempo pertinente de espera entre separações, e não com a técnica química utilizada. Ou seja, o triunfo das separações não estava no método químico, o que dava a esses elementos o *status* de inseparáveis. A nomenclatura “isótopos” ainda não era utilizada, mas esse foi o primeiro indício de que havia algo misterioso nessa impossibilidade de separar esses elementos químicos sem que um tempo pertinente houvesse se passado.

- 2) **A completa identidade química dos isótopos, e não apenas íntima similaridade química, foi gradualmente reconhecida. McCoy e Ross foram os primeiros a expressar uma opinião definitiva nesse sentido (1907).**

McCoy e Ross lançam uma interpretação sobre as pesquisas de Ramsay e Soddy, baseados em evidências de que o radiotório era completamente inseparável do tório, avaliando a forte possibilidade de que, na realidade os cientistas separaram do tório o mesotório, que depois de um intervalo pertinente de tempo, transformara-se em radiotório.

- 3) **A existência de identidades químicas entre os elementos radioativos levou à dedução de que eles podiam existir entre os elementos comuns e serem responsáveis pelas exceções na classificação Periódica e pelo fato de que as massas atômicas, em alguns casos, são valores inteiros. Strömholm e Svedberg foram os primeiros a fazer essa dedução (1909).**

Conforme se conhecia cada vez mais pares de produtos radioativos inseparáveis, mais esse problema interessava aos químicos. Inúmeras tentativas de separar, por exemplo, o íon do tório, ou o rádio D (rádio-chumbo) do chumbo, fracassaram. Strömholm e Svedberg

conseguiram cristalizar o tório X e caracterizá-lo como um metal alcalino-terroso. Notaram que suas características químicas eram idênticas às do rádio (e também às do actínio X). Eles foram os primeiros a tentar ajustar as séries de desintegração no sistema periódico, questionando a possibilidade de que outros elementos, não radioativos, também tivessem essas características e avaliando que todos os elementos na natureza podiam ser misturas de várias entidades idênticas quimicamente, mas cujas massas fossem apenas similares.

- 4) O reconhecimento do efeito da expulsão, primeiramente, da partícula alfa e, posteriormente, da partícula beta (1911 e 1913) levou ao posicionamento correto de todas as três séries de desintegração de ponta a ponta na Tabela Periódica. No lado experimental, o nome de A. Fleck, e no lado teórico de G. Von Hevesy e A. S. Russel, mas de maneira mais importante, de Kasimir Fajans, estão associados a esse avanço.**

Depois da tentativa inicial dos cientistas suecos Strömholm e Svedberg de ajustar as séries de decaimento na Tabela Periódica, vários outros também passaram a tentar o mesmo. Com a identificação da partícula alfa com um átomo de hélio duplamente carregado e da partícula beta com um elétron, valências e massas foram utilizadas para a compreensão dos lugares dos produtos radioativos no sistema.

Von Hevesy entendeu, a partir da valência, que a expulsão de uma partícula beta alterava a valência da substância em uma unidade, no sentido oposto que a expulsão da partícula alfa o fazia, com duas unidades. Seu trabalho teórico falhava, no entanto, em compreender o comportamento de substâncias pré e pós-emanção. Foi o trabalho teórico de Kasimir Fajans – que antecipou por poucos dias o trabalho de Frederick Soddy – que obteve sucesso em posicionar, em termos de valências e massas, as substâncias primárias, seus produtos intermediários e finais na Tabela.

Fajans (1913) parte exatamente da premissa que Soddy descreve em sua Conferência, inferindo que as relações das partículas alfa e beta com o hélio duplamente carregado e o elétron, respectivamente, levam a entender os posicionamentos no sistema. Portanto, com a expulsão de um raio alfa, o produto resultante é mais leve e eletroquimicamente positivo. Para o caso da expulsão do raio beta, ele é mais eletroquimicamente negativo. Como, em uma fila

horizontal da tabela, o caráter eletronegativo aumenta da esquerda para a direita, o decaimento alfa resulta numa posição mais baixa na fila horizontal, o oposto ocorrendo para a emissão beta. Segundo Fajans, o que faltava ser explicado era em quantas posições essas transformações implicavam. Ele menciona a regra proposta por Soddy de que, em um decaimento alfa, duas posições seriam alteradas e propõe que, para um decaimento beta, apenas uma posição o seja.

Um grande resultado dessas propostas veio para a interpretação da existência de chumbo nos minerais de urânio, observada por Boltwood e considerada por Rutherford em sua Conferência Nobel.

Há algum tempo, Boltwood sugeriu, a partir de exames das análises de antigos minerais de urânio, que o chumbo seria provavelmente um produto da série de urânio-rádio. A coincidência de números é certamente intrigante, mas uma prova direta da produção de chumbo a partir do rádio será necessária antes que essa conclusão possa ser considerada definitivamente estabelecida (RUTHERFORD, 1966, paginação eletrônica).

A prova a que Rutherford se referiu veio como resultados dos trabalhos de Soddy e Fajans, assumindo novas nuances: o chumbo seria o produto final de todas as séries de decaimento e suas complexas ramificações. O chumbo produzido por cada uma delas tem massas atômicas diferentes – 208 para a ramificação principal da série de tório, 206 para aquela de urânio – o que sugeriu que o chumbo encontrado na natureza, de massa atômica 207.1, fosse uma mistura dos chumbos finais das séries, uma constatação da complexidade dos elementos já levantada pelos cientistas suecos Strömholm e Svedberg

- 5) **A identidade dos isótopos foi estendida para incluir sua eletroquímica (Paneth e Hevesy) e seus espectros (Russel e Rossi), apesar de, nesse caso, diferenças infinitesimais terem sido descobertas (Harkins e Aronberg, Merton).**
- 6) **Isótopos, na teoria da estrutura atômica de Rutherford, são elementos com sistemas eletrônicos internos idênticos, com carga nuclear positiva idêntica, mas com núcleos nos quais o número total de cargas**

positivas e negativas difere⁸ e, portanto, também diferem em massa. Quem propôs a ideia de que os lugares na Tabela Periódica correspondem a uma diferença de unidade na carga intra-atômica foi Van den Broek.

Ao propor um novo olhar sobre experimentos que pesquisavam a radiação emitida pelo lançamento de partículas beta em uma chapa, Geiger e Marsden (1909) tocam no ponto fundamental de onde nasceria a interpretação atômica nuclear. Até aquele momento, entendia-se que aquela radiação emitida por uma chapa metálica bombardeada por partículas beta pudesse ser de origem secundária. Entretanto, os cientistas defendiam, apoiados em recentes experimentos, que aquela radiação seriam as próprias partículas beta originalmente lançadas, sofrendo espalhamento. A extensão da conclusão às partículas alfa, segundo os autores, *“não foi previamente observada, e talvez não deva ser esperada pelo espalhamento relativamente pequeno que partículas alfa sofrem ao penetrar a matéria”* (p. 495).

Contudo, contrariando esse ponto de vista exposto anteriormente por Rutherford (1906, apud GEIGER; MARSDEN, 1909), os cientistas empreendem experimentos de espalhamento também com partículas alfa. Como resultado, notam que uma pequena parcela das partículas sofrem espalhamento tal que *“emergem novamente no lado da incidência”* (p. 495). Investigam, então, se o fenômeno ocorre em diversas condições, variando, por exemplo, os metais utilizados para o espalhamento e suas espessuras, utilizando o método de cintilação.

A interpretação dos resultados desse experimento foi feita por Rutherford e publicada em 1911. O físico neozelandês considerou razoável supor que os espalhamentos eram devidos a um único encontro entre as partículas e os átomos do metal, pois a chance de serem causados por um segundo encontro seria muito pequena. Além disso, um átomo deveria produzir um campo elétrico muitíssimo intenso para produzir um espalhamento de tanta amplitude.

O átomo de Thomson, cuja característica principal era a distribuição de cargas positivas e negativas uniformemente pelo átomo não dava conta de explicar aquele tipo de espalhamento. Assim, Rutherford examina teoricamente os encontros simples, a probabilidade

⁸ Soddy compreendia haver, no núcleo, cargas positivas e negativas, havendo uma carga resultante positiva. O nêutron e o próton ainda não foram descobertos à época.

de uma única deflexão em qualquer ângulo, a alteração da velocidade em uma colisão atômica e compara espalhamentos únicos e compostos. Depois, compara toda a teoria desenvolvida com os resultados de experimentos já feitos, como os de Geiger e Marsden (1909).

Após expor essa quantidade de dados e cálculos, Rutherford (1911, p. 687) conclui:

Considerando as evidências por inteiro, parece mais simples supor que o átomo contenha uma carga central distribuída em um volume muito pequeno, e que as grandes deflexões se devam à carga central como um todo, e não a seus constituintes. [...] Os dados gerais disponíveis indicam que o valor dessa carga central para átomos diferentes é aproximadamente proporcional às suas massas atômicas, a qualquer taxa, para átomos mais pesados que o alumínio.

Ainda nas conclusões, Rutherford traz à tona o modelo atômico saturniano proposto por Nagaoka (1904, apud RUTHERFORD, 1911), e considera que as evidências obtidas até então não descartam tal modelo.

Nesse trabalho, Rutherford não deduz o sinal das cargas, mas lança possibilidades de experimentos determinantes para o assunto. Em 1913, com o modelo atômico de Bohr-Rutherford, os sinais das cargas do núcleo e da eletrosfera são determinados.

Van den Broek, em 1911, concebeu a ideia de que cada carga intra-atômica correspondia a um átomo, e essa idéia foi utilizada por Bohr na construção de seu modelo atômico baseado na hipótese de Rutherford, pois exigia que o átomo fosse estável (SODDY, 1966). Essa sugestão, aliada à interpretação de Soddy das emissões alfa e beta, para Rutherford (1914), é evidência fundamental desse modelo do átomo. Para Soddy (1966), esse modelo elucida fortemente suas concepções e, especialmente, evidencia a diferença entre mudanças transmutacionais ou radioativas – que ocorrem nos núcleos dos átomos – e mudanças químicas, que ocorrem nas esferas exteriores.

- 7) **Moseley estendeu esse ponto de vista para os elementos não radioativos, e finalmente para toda a Tabela Periódica, e a determinação definitiva do número e da sequência dos lugares nela se tornou possível.**

Independentemente de Rutherford e Soddy, Moseley desenvolvia estudos sobre o espectro de raios X de diversos elementos, e observou que o quadrado dos comprimentos de onda dessas emissões era inversamente proporcional a uma característica de cada elemento, o número atômico.

Examinando o comprimento de onda dos raios X característicos emitidos por doze elementos variando em massa atômica entre o cálcio (40) e o zinco (65,4), ele mostrou que a variação do comprimento de onda pode ser simplesmente explicado supondo que a carga do núcleo aumenta, de elemento a elemento, em exatamente uma unidade. [...] Parece não haver razões para que esse novo e poderoso método de análise [...] não seja estendido a um grande número de elementos, de maneira que se deve esperar por novos dados sobre o assunto em um futuro próximo (RUTHERFORD, 1914, p. 497).

Esse número, análogo à carga intra-atômica de van den Broek, representa a carga nuclear, o número de elétrons externos e a posição de cada elemento na Tabela Periódica. Com essa descoberta, finalmente se pode organizar o sistema, como há muito se tentava.

- 8) A química dos elementos radioativos e a lacuna que anteriormente existia nas séries radioativas, especialmente em relação à origem do actínio, foram esclarecidas e isso levou à descoberta de um novo elemento, o protoactínio (eka-tantalum) nos minerais de urânio, ocupando o lugar entre o rádio e o tório e existindo em quantidade suficiente para que os compostos do elemento sejam preparados em estado puro, e seus espectro e massa atômica serem finalmente determinados, como Madame Curie conseguiu para o rádio. Cranston e eu dividimos com Hahn e Meitner a descoberta original, mas os desenvolvimentos que se seguiram se devem aos últimos.**

Conforme os conhecimentos sobre os isótopos aumentavam, a teoria mostrava maturidade para fazer predições, como a da existência do protoactínio. O elemento, postulado teoricamente para explicar a origem do actínio, logo foi isolado por Otto Hahn e Lise Meitner – sucesso antes conseguido apenas para o rádio, dentre os elementos radioativos.

- 9) **A preparação a partir de minerais radioativos de isótopos diferentes do chumbo seguiu essa descoberta e a determinação de suas massas atômicas, espectros, densidades e outras propriedades estabeleceu que os mesmos caracteres químico e volume atômico podem coexistir com diferenças de massa atômica. O trabalho na mistura de urânio-tório da pechblenda é um segundo exemplo.**
- 10) **O último resultado e, talvez, o mais importante de todos, é o motivo do Prêmio Nobel de Química de 1922.**

Outra previsão da teoria dos isótopos era que o produto final das séries de decaimento do urânio e do tório seria o chumbo, que diferiria apenas em massa atômica para cada um dos esquemas. Sua massa atômica como produto final do decaimento do urânio seria 206; já para o decaimento do tório, o valor seria 208.

Experimentos foram feitos com diversos minerais, e com preparações de urânio livres de tório e vice-versa, provando que os valores experimentais concordavam fortemente com os valores teóricos. Assim, levando-se em conta que os isótopos têm a mesma estrutura eletrônica externa, era possível deduzir que teriam o mesmo volume, o que implicaria a massa dos isótopos serem proporcionais às suas densidades. Novos experimentos foram feitos fazendo-se uso dessa propriedade e, novamente, proporcionaram resultados de grande concordância com os esperados teoricamente.

Todo o corpo de evidências colecionado nos últimos dez anos em favor da complexidade dos elementos culminava com uma teoria bem estruturada, de forte coerência com os dados empíricos, capaz de fazer predições e bem alinhada com outras teorias que se desenvolviam naquele momento.

3.5 CARACTERÍSTICAS DO TRABALHO CIENTÍFICO ATRIBUÍVEIS AO DESENVOLVIMENTO DA RADIOATIVIDADE

O desenvolvimento histórico da seção anterior, articulado a outras referências, como artigos de historiadores sobre o assunto, biografias e correspondências trocadas entre cientistas envolvidos com a radioatividade nas duas primeiras décadas do século 20, compõem o quadro teórico que fundamenta as discussões realizadas nesta seção sobre certas concepções equivocadas do trabalho científico e da natureza da ciência veiculadas pelo ensino de ciências, conforme Gil-Pérez et al (2001).

Para contextualizar melhor esse estudo, importa ressaltar que, na primeira parte do artigo de Gil-Pérez et al (2001), são explicitadas sete imagens distorcidas da ciência: atórica, apromática, de crescimento linear, algorítmica, individualista, socialmente neutra e exclusivamente analítica. Essas imagens e suas relações com o ensino foram discutidas pelos autores do presente trabalho em outro artigo, à luz das investigações iniciais de Marie e Pierre Curie sobre a radioatividade (CORDEIRO; PEDUZZI, 2010).

No segundo segmento do artigo de Gil-Pérez et al (2001), os autores expressam as características da ciência compartilhadas por diversas epistemologias pós-positivistas, que, mesmo tendo várias divergências, destacam a) a recusa de um Método Científico; b) a recusa da indução a partir de “dados puros”; c) a investigação do pensamento divergente; d) a busca pela coerência global, e e) a compreensão do caráter social do trabalho científico.

Porquanto na moderna filosofia da ciência a existência de *um* Método Científico seja letra morta (LAUDAN, 1984), no ensino de ciências, tanto em nível médio como universitário, é comum a crença de que há um conjunto de passos ou etapas – observação, levantamento de hipóteses, preparação e execução de experimentos, tomada de dados e, por fim, teorização – que leva à estruturação e à legitimação do conhecimento (MOREIRA; OSTERMANN, 1993; PLEITEZ, 1996; SILVA; MARTINS, 2003).

Fazendo-se uso da história da radioatividade, pode-se explicitar várias objeções aos supostos ‘passos’ do Método Científico. Sendo ela um fenômeno dificilmente observável cotidianamente, a inferência de que o primeiro passo nessas pesquisas tenha sido a mera observação encontra sérias dificuldades. O fato comumente propagado de que Becquerel tenha descoberto a radioatividade “acidentalmente”, por exemplo, ignora muitos aspectos históricos já expostos na seção

anterior. Becquerel há muito realizava pesquisas com compostos luminescentes (Martins, 1997). Logo após a descoberta dos raios X, procurava por radiações análogas a eles, baseado na hipótese lançada por Henri Poincaré.

Ainda, Marie e Pierre Curie aventaram a hipótese de que haveria alguma substância desconhecida mais radioativa que o próprio urânio em um de seus minerais após realizar diversos experimentos e coletar dados a partir de materiais disponíveis na natureza. A corroboração da existência do rádio veio com a definição de seu espectro e de sua massa atômica. Entretanto, enquanto parte da comunidade científica ainda se mantinha cética quanto à existência do rádio, outra parte já pesquisava as propriedades de suas radiações. O rádio só teve sua existência definitivamente assegurada, com seu isolamento, no final da década de 1910.

Se não há a existência de *um* Método Científico, pode-se dizer que, nessa esfera, há espaço para diferenciados métodos. Esses métodos não são engessados, e dependem de diversos fatores momentâneos que se apresentam aos cientistas.

A Conferência Nobel de Frederick Soddy é rica nesse aspecto, pois o químico foi generoso nos detalhes das pesquisas desenvolvidas por muitos cientistas. Ele não descreveu apenas as pesquisas empíricas, mas também as pesquisas teóricas, cujos métodos são reconhecidamente diferentes. Em uma passagem, onde se refere à conclusão de Svedberg e Strömholm quanto à complexidade dos elementos que ocupam um único lugar na Tabela Periódica, ele afirma:

Em termos filosóficos mais amplos e bastante gerais, e sem ao menos postular uma continuação das séries genéticas de elementos radioativos através do Sistema Periódico, cheguei à conclusão alcançada por Strömholm e Svedberg (SODDY, 1966, paginação eletrônica).

Não é difícil ver implícita, nesta afirmação, a caracterização de dois métodos diferentes de se chegar à mesma conclusão científica.

Imaginar que exista apenas um Método Científico abre precedentes para a instauração não apenas de uma imagem algorítmica do trabalho científico, mas também da sua imagem individualista e elitista. Dessa forma, se há um algoritmo pronto a se seguir, a partir da observação, que garantirá a cientificidade de um conceito, pode-se imaginar que um único cientista, desde que munido dos artefatos e do

conhecimento prévio necessários, seja capaz de fazê-lo (LONGINO, 1990). Mas através da história da radioatividade, constata-se que isso está longe de ser verdade. É interessante notar que um grande grupo de cientistas trabalhou em inúmeras hipóteses, que sistematicamente eram levantadas, mas apenas alguns lançaram as interpretações que, mais tarde, foram corroboradas. O que faz com que as conclusões a partir de experimentos de um cientista sejam mais aceitas, em detrimento de tantas outras alcançadas pelos demais? Um exemplo disto é expresso por Frederick Soddy (1966), ao descrever a tentativa de Hevesy de compreender a valência dos produtos radioativos a partir da expulsão das partículas alfa e beta, e que, apesar de sua conclusão ser, em parte, correta, não conseguiu explicar o comportamento dos produtos pré e pós emissão. Ele também descreve a tentativa de Russel de relacionar as séries de decaimento com a Tabela Periódica, que obteve sucesso parcial. Foram as interpretações de Kasimir Fajans e do próprio Frederick Soddy que conseguiram ajustar as séries no sistema.

Gil-Pérez et al (2001) destacam a importância das hipóteses no desenvolvimento de um conceito científico. Elas não se baseiam apenas nos conhecimentos adquiridos previamente. Fosse este o caso, provavelmente Russel e Hevesy chegariam às mesmas conclusões que Fajans e Soddy. O contexto em que se insere o cientista, relativo ao lançamento das hipóteses e do estado da pesquisa científica, exerce forte influência inclusive para a aceitação ou a negação delas, em um processo bastante complexo.

Essa interpretação das hipóteses pode ser ilustrada fortemente na radioatividade. Já em 1898, Marie Curie conclui que a radioatividade é uma propriedade atômica da matéria, ao notar que a radioatividade dos minerais era proporcional aos seus conteúdos de urânio e tório, e não se modificava segundo alterações nas propriedades químicas dos materiais. Como se sabe, essa hipótese pautou as pesquisas do casal Curie, que culminaram na descoberta dos novos elementos radioativos, polônio e rádio.

Mas ainda mais fortemente, a hipótese da natureza atômica continuou fértil nos trabalhos de Rutherford, Soddy e Ramsay, que reforçam sistematicamente em seus trabalhos que suas teorias – como a desintegração atômica e a identidade entre o hélio e a partícula alfa – partem do princípio fundamental de que a radioatividade é um fenômeno relativo ao átomo, e não à molécula. Essa hipótese balizadora assume uma faceta diferenciada da que tem no Método Científico, onde figura como alternativa de explicação para o fenômeno observado. No caso da hipótese atômica da radioatividade, a relevância era muito maior,

permitindo diversas pesquisas frutíferas. Sua importância é enfatizada pelos eminentes cientistas que trabalhavam no fenômeno, como remarcam Rutherford e Soddy (1902).

Todos os mais eminentes trabalhadores nesse assunto concordam em considerar a radioatividade um fenômeno atômico. O Senhor e a Senhora Curie, os pioneiros na química do assunto, recentemente expressaram seus pontos de vista. Eles enfatizam que essa ideia é subjacente aos seus trabalhos inteiros, desde o começo, e promoveu seus métodos de pesquisa. O Senhor Becquerel, o descobridor original da propriedade do urânio [...] aponta a significância do fato de que o urânio emite raios catódicos. Estes, de acordo com a hipótese de Sir William Crookes e do Professor J. J. Thomson, são partículas materiais de massa igual a um milionésimo da do átomo de hidrogênio.

Na dinâmica interativa entre hipóteses e evidências reside a possibilidade para uma pluralidade de métodos científicos. E a pesquisa rigorosa para a comprovação de hipóteses configura a característica da investigação ao pensamento divergente.

Quando uma hipótese é lançada, empreendem-se diversos tipos de experimentos para testá-las. Esses experimentos, no entanto, são interpretados à luz dos conhecimentos e das convicções teóricas de seu formulador. Essa característica da atividade científica, segundo Gil-Pérez et al (2001), apesar de muito típica e frequente, foi deixada de lado pelos defensores das concepções empírico-indutivistas, e talvez encontre-se tão arraigada no discurso científico por desconhecimento do próprio cientista, que por vezes acredita que a gênese do conhecimento tenha um forte embasamento no fato concreto. Isso é a tão conhecida (e errônea) imagem atórica da ciência, de que os conhecimentos são estruturados a partir da obtenção de “dados puros”. Em outras palavras, os dados providos de um experimento não são puros, por serem interpretados a partir de uma hipótese balizadora, que passará por rigorosos testes para a verificação de sua validade.

Um exemplo muito claro na passagem histórica do desenvolvimento da radioatividade, desse exercício do pensamento divergente, encontra-se nas pesquisas com os raios emitidos pelas substâncias radioativas. Primeiramente, utilizou-se a radiação do urânio – e, a partir dela, Rutherford observou dois tipos distintos de radiação.

Um ano depois, com preparações de rádio, Becquerel, os Curies e Villard também o fizeram. Dois anos mais tarde, com sais de rádio ainda mais concentrados, as pesquisas continuaram – auxiliando, inclusive, na interpretação da natureza das partículas alfa. Ou seja, as pesquisas com as radiações complexas dos elementos radioativos não ficaram estagnadas nos compostos de urânio, mas continuaram conforme se enriquecia os sais de rádio, reconhecidamente mais ativos.

Outra ilustração encontra-se na pesquisa sobre a natureza da partícula alfa. Rutherford (1966) explica a dificuldade de comprovar definitivamente a identidade da partícula alfa e do átomo de hélio⁹ e descreve os diversos experimentos conduzidos por ele e outros cientistas nesse sentido. Ramsay e Soddy mostraram, em 1903, que o hélio estava presente no rádio que fora produzido pelo decaimento do urânio há alguns meses, mostrando que o espectro denunciava claramente linhas pertencentes ao gás; mas, não era possível provar que esse hélio não era apenas um produto da desintegração do rádio. Já fora calculada a relação entre a massa de hélio existente nos minerais radioativos e o número de partículas alfa por eles emitidas. Com a descoberta da relação carga/massa da partícula alfa, e com a comparação dessa relação para o átomo de hidrogênio, puderam concluir que a massa da partícula alfa era duas vezes a deste último. Assim, duas opções estavam em jogo: a de que a partícula alfa fosse a molécula de hidrogênio ou o átomo de hélio.

Rutherford mostra sua inclinação clara ao átomo de hélio. *“Parecia muito improvável que o hidrogênio fosse ejetado em um estado molecular e, não, atômico, como resultado de uma explosão atômica”* (RUTHERFORD, 1966, paginação eletrônica). Contudo, apesar de tantas evidências reunidas, ainda não era possível enunciar conclusivamente a identidade. No experimento feito no ano de 1908 (RUTHERFORD, 1966) e publicado no ano seguinte (RUTHERFORD; ROYDS, 1909), todos os contra-argumentos às evidências tão solidamente apresentadas foram levados em conta para a construção de um experimento que pudesse fornecer dados conclusivos para a interpretação da identidade.

Um outro exemplo de investigação do pensamento divergente é dado por Geiger e Marsden (1909), que ao observarem que uma pequena fração das partículas alfa lançadas contra uma fina chapa metálica sofria espalhamento em grandes ângulos (contrariando as expectativas

⁹ Hoje sabe-se que a partícula alfa é o átomo de He duplamente carregado; entretanto, Rutherford sistematicamente identifica a radiação ao átomo de He, por ainda não reconhecer sua carga.

anteriores baseadas nas suas naturezas e no modelo de Thomson), empreendem experimentos meticulosos e rigorosos a fim de entender melhor esse fenômeno.

Para ter uma ideia da maneira com que esse efeito ocorre, foram investigados os seguintes pontos:

- (I) A quantidade relativa de reflexão em diferentes metais.
- (II) A quantidade relativa de reflexão em metais de diferentes espessuras.
- (III) A fração das partículas alfa incidentes que são refletidas (GEIGER; MARSDEN, 1909, p. 495).

Como já foi mencionado previamente no estudo histórico, Rutherford (1911), baseado nas evidências geradas por esses experimentos, considera que o átomo deva ser constituído de um núcleo carregado, que exerça um campo elétrico forte o suficiente para provocar o espalhamento. Geiger e Marsden (1913) publicam novamente um artigo em que descrevem novos e mais rigorosos experimentos que, segundo eles “*foram feitos para testar a teoria atômica proposta por Professor Rutherford*” (p. 623). Essa dinâmica entre hipótese e evidências reforça fortemente haver uma investigação do pensamento divergente.

Há outra característica do trabalho científico, levantada por Gil-Pérez et al (2001), que encontra novos exemplos nos documentos históricos que embasaram o estudo histórico descrito previamente neste artigo: é a da busca pela coerência global.

Apesar da grande importância que as hipóteses tomam para a construção de uma teoria científica, o que as legitimará será, certamente, a coerência que os resultados experimentais e teóricos encontrarão no corpo de conhecimentos já estabelecido. Assim, essa característica rivaliza com a imagem distorcida de que a ciência é exclusivamente analítica, ou seja, de que é da natureza da atividade científica trabalhar específica e sistematicamente nas suas ramificações, ignorando qualquer tipo de tendência à procura por um conjunto de conhecimentos unificados.

Primeiramente, Rutherford (1899) observa haver dois tipos distintos de radiação sendo emitidos pelo urânio, que ele denomina alfa e beta, de acordo com seus poderes de penetração em camadas de papel e alumínio. No ano seguinte, na França, Becquerel e os Curies

observam, com o auxílio de preparações de rádio, também dois tipos distintos de raios. Entretanto, essa distinção não foi feita através de análise de poderes de penetração e, sim, através da observação de seus desvios na presença de campos elétricos e magnéticos. A segunda constatação indicava a concordância com as conclusões de Rutherford e, por isso, figura aqui como um exemplo de coerência global.

Nos trabalhos desenvolvidos por Ramsay e Soddy (1903), essa característica fica ainda mais clara. Uma das primeiras peculiaridades do artigo, intitulado “*Experimentos em radioatividade e a produção de Hélio pelo Rádio*”, é sua divisão em quatro seções, que descrevem diferentes experimentos que aglutinam evidências em favor da hipótese de que o hélio é um produto dos fenômenos radioativos.

Mas mais fortemente, eles descrevem os experimentos feitos para assegurar que a ionização produzida não seria devida parcialmente aos gases monoatômicos existentes na atmosfera. Eles discutem dois experimentos, que indicaram que esse não era o caso e “*concordaram com a explicação já proposta por esses investigadores de que o poder de descarga do ar é causado pela radioatividade*” (p. 204).

Já na última seção, “*Produção de hélio pela emissão do rádio*”, eles narram fazer os experimentos descritos nas duas seções anteriores – sobre a radioatividade de gases inertes na atmosfera, sobre as emissões do rádio e ocorrência do hélio em gases produzidos pelo brometo de rádio – e seus resultados, associados à análise espectroscópica, para a confirmação de que o hélio estava em curso de produção nas emissões. E terminam enfatizando “*Um experimento confirmatório produziu resultados idênticos*” (p. 207).

Pode-se olhar para a estrutura desse artigo como um indício claro de que Ramsay e Soddy procuravam fundamentar ‘exaustivamente’ seus resultados. Por isso, antecipam-se empreendendo variados experimentos de maneira que aquele corpo de resultados tivesse forte coerência entre eles e com os conhecimentos prévios, já expostos à comunidade científica, como, por exemplo, o fato de que a ionização do ar das vizinhanças de um material radioativo é devida somente a ele.

Rutherford e Soddy (1902) apontam também para uma busca pela coerência global ao concluir seu artigo, mais especificamente às propriedades instrumentais que a radioatividade mostra ter, ao fazerem uma analogia com outro fenômeno físico utilizado na química:

Os resultados presentes mostram que a radioatividade também pode ser usada para a

compreensão de *mudanças químicas ocorrendo na matéria*. As propriedades da matéria que aceitam as condições necessárias para o estudo da mudança química sem perturbações ao sistema reagente são poucas. Parece razoável esperar, à luz dos resultados expostos, que a radioatividade, sendo tal propriedade, provê meios de obter informações de processos que ocorrem dentro do átomo químico, da mesma maneira que a rotação do plano de polarização e outras propriedades físicas foram utilizadas na química para a investigação do curso das mudanças moleculares (paginação eletrônica, grifo dos autores).

As Conferências Nobel de Rutherford e Soddy, por sua forte característica de recapitulação histórica das descobertas da partícula alfa e dos isótopos, respectivamente, oferecem outros exemplos da busca pela coerência global.

Ernest Rutherford inicia sua aula tratando da descoberta da radioatividade, por Becquerel, e da sua descoberta de dois tipos distintos de radiações emitidas pelo urânio. Ele menciona que o interesse geral se voltou às radiações beta, primeiramente, por seus grandes poderes de penetração. Entretanto, a constatação de que a maior parte da ionização nas vizinhanças de um material radioativo seria devida às partículas alfa, fez com que se dirigisse mais atenção a elas.

Muitos esforços foram despendidos para a determinação da natureza dessas radiações. Levantou-se a hipótese de as partículas alfa carregarem uma carga positiva, o que só pode ser verificado experimentalmente mais tarde, com preparações de rádio mais ativas. Um dos primeiros dados conseguidos pelos cientistas tratava da relação carga/massa da partícula alfa, um forte indício de que ela seria um átomo de algum elemento químico muito leve – possivelmente o hidrogênio ou o hélio mas, também, com alguma probabilidade, o átomo de um elemento desconhecido.

A constatação da natureza atômica da radiação alfa influenciou fortemente os estudos que Rutherford e Soddy realizaram na Universidade de McGill, em Montreal, pois era uma indicação da desintegração dos elementos.

Mesmo antes da descoberta do material fonte de raios alfa, considerara-se provável que a radiação de qualquer substância em particular acompanhava a

quebra de seus átomos. A prova de que a partícula alfa era um átomo ejetado da matéria fortaleceu essa conclusão e, ao mesmo tempo, deu uma representação mais correta e definida dos processos que ocorrem na matéria radioativa (RUTHERFORD, 1966, paginação eletrônica).

A definição parcial da natureza da partícula alfa, como descrita nesse trecho da conferência, oferece um forte indício de que um resultado corroborava o outro, em um exemplo pontual de busca pela coerência global do corpo de conhecimentos até então colecionados sobre o fenômeno.

Rutherford (1966) segue, então, descrevendo os diversos experimentos conduzidos com minérios radioativos e sais de rádio, atacando o problema a partir de vários ângulos, como cálculos de volume de hélio a partir da contagem de partículas alfa e do calor emitido pelo rádio. Apesar das fortes evidências, era muito difícil enunciar definitivamente a identidade entre a partícula alfa e o átomo de hélio duplamente carregado. Os dados, entretanto, construíam um corpo de evidências cada vez mais forte. O experimento já descrito no presente trabalho, dirigido pelo próprio Rutherford e por Thomas Royds (1909), foi decisivo para o assunto.

Já Frederick Soddy empreende uma reconstrução histórica semelhante, em que descreve diversos experimentos que, em conjunto, culminam na noção de isotopia. Ele mesmo resume sua extensa recapitulação, ao final da Conferência, em dez tópicos onde apresenta cada conhecimento físico e químico agregado ao corpo geral de conhecimentos sobre o assunto. Esses tópicos, que também foram explorados previamente neste trabalho, são uma imagem muito clara do que foi a busca pela coerência que a noção de isotopia tinha com outras.

A coerência entre a noção de isótopos e a teoria atômica nuclear de Rutherford, como descrita no tópico de número sete por Frederick Soddy (1966), tem um valor especial neste trabalho, pois mostra que um determinado conceito pode ser estudado a partir de perspectivas diferentes, como as do químico e do físico, e, finalmente, mostrar que essas perspectivas são fortemente articuladas e coerentes entre si.

Nos primeiros anos de estudos com radioatividade, o casal Curie notara que sua descoberta do rádio poderia ter aplicações imediatas na medicina. Em 1905, Pierre Curie mencionou:

Finalmente, nas ciências biológicas, os raios de rádio e suas emanações produzem efeitos interessantes, que estão sendo presentemente estudados. Os raios de rádio vêm sendo usados nos tratamentos de certas doenças (lúpus, câncer, doenças nervosas) (CURIE, P., 1967).

Já nos anos que se seguiram, um dos grandes nomes do período demonstrou o mesmo interesse. Frederick Soddy, que já havia inovado o tratamento da tuberculose com a utilização do gás radônio, voltou suas atenções ao rádio, cuja utilidade para a medicina já era, de alguma forma, reconhecida, defendendo que a Escócia deveria produzir suas próprias fontes desse elemento (FREEDMAN, 1979).

Essa é uma faceta de Soddy que, segundo Freedman (1979), pouco se conhece – o lado do cientista que se preocupava com as implicações práticas de suas descobertas. No entanto, parece que essas implicações práticas tiveram mais do que um papel secundário em suas pesquisas, constituindo-se de certa maneira num dos fatores causais para a descoberta dos isótopos radioativos. Em sua Conferência Nobel, Soddy faz a seguinte afirmação:

Em 1910, um caso de identidade química novo e, como se provou, muito importante, foi descoberto, entre o mesotório I e o rádio. Isso foi publicado independentemente por mim e por Marckwald, apesar de poder ter sido previamente conhecido por Hahn e outros envolvidos com as técnicas de extração do mesotório, *mas que, entretanto, o mantiveram em segredo* (SODDY, 1966, paginação eletrônica, grifo dos autores).

O mesotório I – que se sabe hoje ser um isótopo do rádio – emitia radiações de capacidade de penetração muito similar à do rádio, mas poderia ser produzido muito mais facilmente, o que lhe conferia grande valor para a crescente indústria da matéria radioativa. A possibilidade de que Otto Hahn – cujas pesquisas eram financiadas pela indústria do tório alemã – pudesse saber desse valor e manter em sigilo parece ter incomodado bastante Frederick Soddy, a ponto de ele mencionar isso em sua Conferência Nobel.

Assim, Freedman (1979) defende que Soddy foi levado à empreitada de caracterizar as propriedades químicas do mesotório, que

não foram reveladas por Otto Hahn, e então descobrir que ele era quimicamente idêntico ao rádio; nascia a concepção de isótopos, apesar de ainda não serem assim denominados. Soddy patenteou o processo de produção do mesotório, mas publicou a técnica empregada, o que indica que sua intenção ao fazê-lo, longe do lucro, era levar esse conhecimento, de grandes implicações práticas, ao público geral.

É impossível afirmar com certeza que esse foi o único, ou principal, fator motivador para que Soddy descobrisse os isótopos. Apesar disso, é razoável aceitar que essa foi uma das motivações para que ele se propusesse a fazer essa pesquisa. As intenções de Soddy extrapolavam, então, a esfera estritamente científica, pois ele tinha algumas perspectivas de cunho tecnológico-social para suas pesquisas. Essa é uma característica do trabalho científico que por muito tempo foi negada nas correntes empiristas – sua relação com aspectos tecnológicos e sociais.

Por certo, nem sempre houve influências de necessidades tecnológicas e sociais para a produção científica; o próprio caso do primeiro período da radioatividade é uma boa ilustração. Marie e Pierre Curie não tiveram nenhum fomento social ou tecnológico para entenderem o caráter atômico dos fenômenos radioativos. Mesmo assim, de posse desse conhecimento, mostraram interesse nas aplicações práticas – ou nas finalidades – da radioatividade (CORDEIRO; PEDUZZI, 2010).

Os casos de interesses práticos de Frederick Soddy parecem ir nos dois sentidos – causal e final. O exemplo das aplicações medicinais dos elementos radioativos pode não ter sido o maior fator motivador para suas pesquisas, mas ele via na medicina uma *finalidade* prática delas. Já o exemplo da disponibilidade comercial do rádio e do incômodo causado pelas atitudes de Hahn parece ser um quesito *causal* na descoberta dos isótopos. São dois exemplos de facetas tecnológica e social.

Gil-Pérez et al (2001) levantam essa relação do trabalho científico com seus aspectos sociais e tecnológicos como uma das características epistemológicas compartilhadas pelas epistemologias pós-positivistas. Esse relacionamento hoje em dia não é apenas aceito, mas obrigatório. Com o crescimento dos estudos sociais da ciência a partir da perspectiva de Kuhn (1970), logo se notou que essas três esferas – científica, tecnológica e social – são em geral indissociáveis e influenciam fortemente umas às outras.

Interessantemente, a área de Ciência, Tecnologia e Sociedade, no âmbito da educação, já mostra consolidação há muitos anos –

reformas curriculares baseadas nesses preceitos vêm sendo propostas nos EUA e na Europa desde o fim da Segunda Guerra Mundial (SOLOMON, 1993). Some-se a isso o apelo da mídia para os produtos da ciência e da tecnologia e seus efeitos na sociedade e se espera, como resultado, que a imagem de uma ciência socialmente neutra, típica de correntes empiristas, não seja mais propagada em sala de aula. Apesar disto, esta ainda é uma imagem deformada do trabalho científico que Gil-Pérez et al (2001) encontram na literatura, como sendo algo a ser combatido, ou seja, há ainda muitos professores que, por acreditarem na neutralidade da ciência, propagam essa imagem a seus alunos.

Voltando ao exemplo da descoberta dos isótopos, a preocupação de Soddy não parou na disponibilidade comercial dos elementos rádio e mesotório. Segundo Freedman (1979), Soddy ainda se dedicou a outra implicação prática dos fenômenos, que se pode compreender como profética: a geração de energia.

Não passou despercebida pelos diversos cientistas que se debruçavam sobre a radioatividade naquele começo de século 20 a magnífica fonte de energia que os elementos radioativos liberavam, e em suas primeiras pesquisas, Soddy calculou, juntamente a Rutherford, a quantidade de energia envolvida nos fenômenos radioativos. Em seus anos na Universidade de Glasgow, Soddy publicou diversos trabalhos enfatizando a importância da busca por geração de energia através de processos atômicos. Ele já previa que a industrialização exigiria uma energia que as fontes de combustíveis disponíveis até o momento não dariam conta de suprir, apontando para a utilização de energia atômica e enfatizando a necessidade de se pesquisar processos que pudessem proporcionar essa transformação (FREEDMAN, 1979).

A associação com a indústria não era privilégio de Hahn, sendo Soddy ele mesmo amigo e genro de um grande químico-industrial. Para Freedman (1979), esse relacionamento tão próximo foi bastante simbiótico: Soddy envolveu-se em resoluções de problemas científicos na indústria que seu sogro gerenciava e o sogro, por sua vez, forneceu subsídios às pesquisas do cientista sobre o substituto do rádio. Essa é uma ilustração claríssima de que as influências entre ciência e tecnologia acontecem nos dois sentidos – nesse caso, mediadas por um fator social, que era o bom relacionamento entre o químico e o industrial.

O livro *The world set free* (em uma tradução livre, *O mundo libertado*), de H. G. Wells é uma ficção científica baseada na obra de Frederick Soddy, *The interpretation of radium* (A interpretação do rádio). O livro pinta uma realidade para o ano de 1933, em que o mundo

faz utilização da energia atômica, inclusive para fins nucleares. Freedman (1979) afirma que a história do livro de Wells elucidou, para Soddy, a possibilidade de aquele conhecimento ser usado para a construção de armas atômicas. É relevante afirmar que Soddy não foi o primeiro visionário dessa possibilidade. Em 1905, Pierre Curie concluiu sua Conferência Nobel afirmando que o rádio, em mãos mal-intencionadas, poderia se tornar uma arma perigosa, mas que ele preferia imaginar que a humanidade teria a capacidade de fazer o uso benéfico desse conhecimento. Deve-se observar que Otto Hahn, que, como já mencionado, trabalhou para a indústria química alemã com o mesotório, foi, mais à frente, um dos descobridores da fissão nuclear – ganhando, inclusive, um Prêmio Nobel por essa pesquisa, em 1944 –, e trabalhou no programa nuclear alemão, no desenvolvimento de bombas.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O que começou com as misteriosas radiações X no final do século 19 cresceu e se tornou um corpo de conhecimentos revolucionário para a ciência, logo na década seguinte. Ao se depararem com as chapas fotográficas impressionadas na forma do esqueleto da mão da esposa de Röntgen e com seu procedimento experimental, os cientistas certamente imaginaram que um novo mundo se expunha aos seus olhos. A chapa mostrava aplicações diretas desses raios em outras áreas do conhecimento, como a médica, notadamente. Mas mesmo para os mais otimistas, as descobertas que se seguiram foram, no mínimo, admiráveis. O desvelar desse novo domínio abalou as estruturas da ciência clássica mas, ao mesmo tempo, forneceu bases para as rápidas mudanças que caracterizaram todo o século 20.

Para a química, as noções que se seguiram da radioatividade colaboraram de uma certa maneira para uma compreensão mais global da disciplina. A postulação do número atômico como nova base para a classificação periódica dos elementos, em substituição da massa atômica, permitiu uma melhor clareza nas representações dos elementos dentro de um sistema que há muitos anos vinha sendo desenvolvido e que é extremamente importante até hoje. Ainda, a compreensão da natureza complexa dos elementos, representada pela existência de isótopos, reforça a importância que o fenômeno da radioatividade teve para conclusões mais generalizadas, abrangendo inclusive os átomos estáveis.

A isotopia, que surgiu como uma propriedade dos elementos radioativos, logo foi procurada nos outros elementos e, finalmente

comprovada. Frederick Soddy afirmou em sua Conferência Nobel que, já em 1913, J. J. Thomson e Francis Aston observaram na atmosfera um isótopo de massa 22 do neônio. No ano seguinte à premiação de Soddy, Aston recebeu o Prêmio Nobel de Química de 1922, pela “*sua descoberta, através de seu espectrógrafo de massa, de isótopos em um grande número de elementos não radioativos e por sua enunciação da regra do número inteiro*”. A nova concepção de complexidade dos elementos rivalizava fortemente com a teoria atômica de Dalton, que enunciava serem os átomos de um elemento sempre iguais em massa – algo bastante dogmático na Química – e, juntamente com a noção de desintegração atômica, foi revolucionária para a área. Medeiros (1999) aponta que ensinar a história dos isótopos nas aulas da disciplina pode contribuir para desconstruir a ideia ainda tão costumeira entre os alunos de que os átomos de um elemento são sempre idênticos em massa.

Se as conseqüências desses novos conhecimentos para a Química foram revolucionárias, na Física elas abriram portas para a descoberta de diversos outros conceitos e fenômenos. O novo modelo atômico elucidou um novo domínio a ser estudado – o nuclear. A fissão e a fusão nucleares puderam se consolidar sem terem que enfrentar a concepção de matéria imutável. Quanto às implicações tecnológicas e sociais permitidas por essa nova ciência, pode-se mencionar o desenvolvimento de novas formas de geração de energia e instrumentos medicinais, além, é claro, das armas nucleares.

É bastante relevante ressaltar que o conjunto de conhecimentos que se construiu a partir da descoberta da radioatividade foi feito sem o conhecimento do nêutron – descoberto por James Chadwick, em 1932. Certamente, esse extraordinário fato pode impressionar o aluno que, usualmente, aprende sobre radioatividade e isótopos já familiarizado com o conceito. A tradição de organização dos conhecimentos científicos de maneira dessincretizada de certa forma descaracteriza essa face construtivista da ciência, e colabora para promover imagens inapropriadas do conhecimento científico.

Muitos são os autores que apontam que essa função, de recontextualização da ciência, pode ser feita através do uso da história da ciência e da tecnologia (MATTHEWS, 1995; CARVALHO; VANUCCHI, 2000; GUERRA et al, 2004). De qualquer modo, aproximar o aluno desse empreendimento e fornecer subsídios para a ressignificação de conceitos que perdem suas essências quando tratados de maneira meramente instrumental, representa um grande desafio para o ensino.

Outro tópico que vem ganhando atenção significativa no ensino de física é o da adição dos conteúdos de física moderna e contemporânea no currículo do ensino médio brasileiro, que ainda é feita de maneira bastante incipiente (OSTERMANN; MOREIRA, 2001; PEREIRA; OSTERMANN, 2009). A disparidade entre a física aprendida em sala de aula e a física do cotidiano tecnológico dos alunos é abissal e também contribui para que os alunos não enxerguem essas duas físicas como a mesma ciência. Este é outro tipo de ressignificação cuja essencialidade ganha cada vez mais espaço nas pesquisas acadêmicas.

Uma combinação de esforços para tornar a ciência e sua imagem menos problemática, ao menos, parece passar, entre outras ações, por um melhor apreço didático à história da ciência moderna e contemporânea. Apesar de o presente trabalho estar voltado ao aluno do ensino superior, frisa-se novamente que tal aluno, possivelmente, será ele mesmo professor – de Ensino Médio ou Superior – e que sua formação em uma física moderna contextualizada histórica e filosoficamente pode trazer reflexos positivos para o ensino dessa matéria com seus alunos.

Longe de intentar esgotar o assunto, espera-se, através deste trabalho, ter apresentado argumentos convincentes e desafiadores para levar o aluno universitário a se interessar e a refletir, com mais fundamento, sobre um tema com tantos desdobramentos, dentro e fora da ciência, como é o período inicial da radioatividade.

REFERÊNCIAS

BADASH, L. Radioactivity before the Curies. **American Journal of Physics**, v. 33, n. 2, p. 128 – 135, fev. 1965.

BADASH, L. Rutherford and Boltwood: **Letters on Radioactivity**. 377 p. New Haven e Londres: Yale University Press. 1969.

BECQUEREL, H. Émission de radiations nouvelles par l'uranium métallique. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 122, t. 1, p. 1086-1088, 1896.

BECQUEREL, H. Contribution à l'étude du rayonnement du radium. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 130, t. 1, p. 206 – 211, 1900a.

BECQUEREL, H. Sur La dispersion Du rayonnement Du radium dans um champ magnétique. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 130, t. 1, p. 372 – 376, 1900b.

BECQUEREL, H. Déviation du rayonnement du radium dans un champ électrique. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 130, t. 1, p. 809 – 815, 1900c.

BECQUEREL, H. Note sur le rayonnement de l'uranium. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 130, t. 1, p. 1583 – 1585, 1900d.

CARVALHO, A. M. P.; VANUCCHI, A. I. History, Philosophy and Science Teaching: Some Answers to How. **Science & Education**. Amsterdã: Elsevier, v. 9, p. 427 – 448, 2000.

CHADWICK, J. **The Collected Papers of Lord Rutherford of Nelson, Volume I: New Zealand – Cambridge – Montreal**. Nova York: Interscience, 1962.

CORDEIRO, M. D., PEDUZZI, L. O. Q. As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. **Artigo aceito para publicação, Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, dez. 2010.

CURIE, E. **Madame Curie**. Tradução: Monteiro Lobato. 11 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1962.

CURIE, M. Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 126, t. 2, p. 1101 -1103, 1898.

CURIE, M. Sur la penetration des rayons de Becquerel non déviables par le champ magnétique. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 130, t.1, p. 76 – 79, 1900.

CURIE, P. Action du champ magnétique sur les rayons de Becquerel. Rayons déviés et rayons non déviés. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 130, t. 1, p. 73 – 76, 1900.

CURIE, P.; CURIE, M. Sur la charge électrique des rayons déviables du radium. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 130, t. 1, p. 647 – 650, 1900.

CURIE, P. Radioactive Substances, especially Radium. In: **Nobel Lectures, Physics 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1967.

CURIE, M. Radium and the new concepts in chemistry. In: **Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1966.

EISBERG, R., RESNICK, R. Física **Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 13. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FAJANS, K. Radioactive Transformations and the Periodic System of the Elements. **Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft**, v. 46, p. 422 – 439, 1913.

FELDMAN, B. **The Nobel Prize**. 1. ed. Nova York: Arcade Publishing, 2000

FRANK, P. The Place of the Philosophy of Science in the Curriculum of the Physics Student. **American Journal of Physics**, v. 15, n. 3, pp. 202 – 218, 1947.

FRANK, P. The Place of the Philosophy of Science in the Curriculum of the Physics Student. **Science&Education**, Amsterdã: Elsevier, v.13, pp. 99 – 120, 2004.

FREEDMAN, M. I. Frederick Soddy and the Practical Significance of Radioactive Matter. **The British Journal for the History of Science**. v. 12, n 42. 1979.

GEIGER, H., MARSDEN, E. On a diffuse reflection of the alpha particles. **Proceedings of the Royal Society**. Londres, v. 82, p. 495 – 500, 1909.

GEIGER, H., MARSDEN, E. The Laws of deflexion of alpha particles through large angles. **Philosophical Magazine**, s. 6, v. 25, n. 148, abr. 1913.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, São Paulo, v.7, n.2, p. 125 – 154, 2001.

GUERRA, A. *et al.* Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, p. 224 – 248, ago. 2004.

KRAGH, H. The origin of radioactivity: from solvable problem to unsolvable non-problem. **Archive for History of Exact Sciences**, Berlin/Heidelberg, v. 50, n. 3-4, set. 1997.

KRAGH, H. Conceptual changes in chemistry: the notion of a chemical element ca. 1900 – 1925. **Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, v.31, n.4, dez. 2000.

KUHN, T. S. **The Structure of Scientific Revolutions**. 2 ed. Chicago e Londres: University of Chicago Press, 1970.

LAUDAN, L. **Science and Values: the aims of science and their role in scientific debate**. Berkeley, Los Angeles, London: University of California Press, 1984.

LONGINO, H. **Science as a Social Knowledge. Values and Objectivity in Scientific Inquiry**. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1990.

MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 7 (numero especial), p. 27 – 45, 1990.

MARTINS, R. A. Becquerel and the Choice of Uranium Compounds. **Archives for History of Exact Sciences**, Berlin/Heidelberg, v. 51, n. 1, p. 67-81, mar. 1997.

MARTINS, R. A. A Descoberta da Radioatividade. In: Santos, C. A. **Da Revolução Científica à Revolução Tecnológica**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 1998, p. 29 – 49.

MARTINS, R. A. As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos. **Revista da SBHC**, n. 1, p. 29 – 41, 2003.

MARTINS, R. A. Hipóteses e interpretação experimental: a conjectura de Poincaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thomson. **Ciência & Educação**. São Paulo, v. 10, n. 3, p. 501 – 516, 2004.

MARTINS, R. A. Ciências versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M; BELTRAN, M. H. R. (eds). **Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: EDUC / Livraria da Física / FAPESP, 2005, p. 115 – 145.

MEDEIROS, A. Aston e a descoberta dos Isótopos. **Química Nova na Escola**, n. 10, p. 32 – 37, nov. 1999.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Método Científico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n. 2, p. 108 – 117, ago. 1993.

OLIPHANT, M. **Rutherford: Recollections of the Cambridge Days**. 158 p. Amsterdã, Londres, Nova York: Elsevier, 1972.

OSTERMANN, F., MOREIRA, M.A Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v.5, n.1, p. 23 – 48, jan. 2000.

OSTERMANN, F., MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 18, n. 2, p. 135 – 151, ago. 2001.

OWENS, T. Going to school with Madame Curie and Mr. Einstein: gender roles in children’s science biographies. **Cultural Studies of Science Education**, Holanda. Publicado online, fev. 2009. Disponível em <www.springerlink.com> Acesso em: 17 mai. 2009.

PEREIRA, A. P., OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente.

Investigações em Ensino de Ciências. Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 393 – 420, 2009.

PLEITEZ, V. O acaso, o preconceito e o método científico em física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 18, n. 4, p. 355 – 361, dez. 1996.

RAMSAY, W., SODDY, F. Experiments in Radioactivity, and the Production of Helium from Radium. **Proceedings of the Royal Society of London**. Londres, v. 72, p. 204 – 207, 1903.

RUTHERFORD, E.; SODDY, F. The cause and nature of Radioactivity. **Philosophical Magazine**, v. 4, p. 370 – 396, 1902.

RUTHERFORD, E., ROYDS, T. The nature of the alpha particle from radioactive substances. **Philosophical Magazine**, v. 17, p. 281 – 286, 1909.

RUTHERFORD, E. The scattering of alpha and beta particles by matter and the structure of the atom. **Philosophical Magazine**, s. 6, v. 21, p. 669 – 688, mai. 1911.

RUTHERFORD, E. The Structure of the Atom. **Philosophical Magazine**, s. 6, v. 27, p. 488 – 498, mar. 1914.

RUTHERFORD, E. The Chemical Nature of the Alpha Particles of the Radioactive Substances. In: **Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1966.

SCHMIDT, G. C. Sur les radiations émises par le thorium et ses composés. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 126, t. 1, 1898.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. Teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da História da Ciência em sala de aula. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 1, p. 53 – 65, 2003.

SODDY, F. La chimie des éléments radioactifs. Paris: Gauthier-Villars et Compagnie, 1915.

SODDY, F. The origins of the concetions of Isotopes. In: **Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1966.

SOLOMON, J. **Teaching Science, Technology and Society. Developing Science and Technology Series**. Bristol: Taylor and Francis, 1993.

TERRAZAN, E. A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino de Física na escola de 2º grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.9, n.3, p. 209 – 214, dez. 1992.

TRENN, T. J. Radioactivity and Atomic Theory: presenting facsimile reproduction of the Annual Progress Reports on Radioactivity from 1904 to 1920 to the Chemical Society. Londres: Taylor and Francis ltd., 1975.

VILLARD, P. Sur Le rayonnement Du radium. **Comptes Rendus Hebdomadaires de l'Académie des Sciences de Paris**. Paris, v. 130, t. 1, p. 1178 – 1179, 1900.

WELLS, H. G. **Experiment in Autobiography**. 175 p. Nova York: McMillan. 1934.

CAPÍTULO 4

Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade

4 CONSEQUÊNCIAS DAS DESCONTEXTUALIZAÇÕES EM UM LIVRO DIDÁTICO: UMA ANÁLISE DO TEMA RADIOATIVIDADE

4.1 RESUMO

Na década de 1980, Chevallard investigou as transformações sofridas pelo conhecimento científico para se tornar ensinável, chamando esse processo de *Transposição Didática*. Em livros textos de ciências, em geral, esse processo envolve a apresentação de conteúdos organizados de forma lógica, sem preocupações com as origens histórico-filosóficas do contexto de geração desses conhecimentos. Essa didática descontextualizadora, além de propagar equívocos sobre a natureza da ciência e do trabalho científico, é falha também quando, inadvertidamente, faz uso de conceitos estranhos ao quadro conceitual de origem em que são abordados determinados assuntos, utilizando a história da ciência como mero conteúdo introdutório. Nesse trabalho analisa-se a Transposição Didática da radioatividade em um livro usado em disciplinas de Estrutura da Matéria e afins, na formação de professores e futuros cientistas.

Palavras-chave: Transposição Didática. História da Ciência, Radioatividade. Livro Didático.

4.2 INTRODUÇÃO

O livro didático é a principal fonte de consulta de professores e estudantes, em qualquer nível de ensino. Ao descrever o que denominou de período de *ciência normal*, o físico e filósofo da ciência Thomas Kuhn (1996) faz referência ao livro didático como um dos elementos de papel fundamental nesse período.

Neste trabalho, “ciência normal” significa a pesquisa baseada firmemente sobre uma ou mais conquistas científicas passadas, conquistas que alguma comunidade científica particular reconhece por um tempo como a mantenedora da fundação de suas práticas posteriores. Hoje em dia, tais conquistas são recontadas, mesmo que raramente em suas formas originais, por livros didáticos de ciências elementares ou avançados. Esses livros didáticos expõem o corpo das teorias aceitas, ilustram muitas ou todas as suas aplicações bem

sucedidas e comparam essas aplicações com observações e experimentos exemplares (KUHN, 1996, p. 10).

Para Kuhn, os livros são essenciais para transmitir às novas gerações os conhecimentos aceitos e compartilhados pela comunidade científica.

Preocupado com a forma pela qual o conhecimento é disseminado nos manuais didáticos e na prática docente, Yves Chevallard (1991) analisou os processos sofridos pelo conhecimento científico para tornar-se conhecimento escolar, mostrando a distinção fundamental entre seu produto final – em suas palavras, os *saberes a ensinar* e *ensinado* – e a matéria-prima, o *saber sábio*. Sua análise ficou conhecida como Transposição Didática.

Na comunidade acadêmica de ensino de ciências, a análise do didata francês ganhou muitos adeptos, e tornou-se referência para uma grande variedade de investigações, tanto nas ciências naturais, quanto na matemática, área de Chevallard. Apesar disso, poucos são os trabalhos que examinam as consequências de certos efeitos colaterais danosos ao ensino, causados por processos descontextualizadores reconhecidos pelo didata.

Nessa perspectiva, faz-se uma análise de um tema abordado por um texto bastante utilizado em disciplinas de Física Moderna, com o instrumento de análise provido por Chevallard. Primeiramente, procura-se por vestígios de processos descontextualizadores (dessincretização, despersonalização e descontextualização) relacionados à radioatividade. Em seguida, discute-se algumas implicações epistemológicas, especialmente nos termos das imagens deformadas do trabalho científico, estudadas por Gil-Pérez et al (2001).

O que se ganha e o que se perde com o tipo de abordagem descontextualizada da radioatividade? No que ela resulta para os futuros professores e cientistas? O que se pode fazer para preencher prováveis lacunas na formação desses profissionais?

4.3 AS DESCONTEXTUALIZAÇÕES DO SABER

A constatação mais notável da distinção entre conteúdos científicos e didáticos foi feita por Yves Chevallard, na década de 1980, quando analisou o sistema de ensino de matemática francês. O didata observou os processos operados sobre o conhecimento científico para que ele fosse apropriado para o ensino de matemática. Chevallard

mostrou que tais processos não são meras simplificações; por sua complexidade, envolvem toda a comunidade ligada direta ou indiretamente ao ensino, suas expectativas e exigências para a educação.

A obra de Chevallard abrange todo o espectro educacional: começa na esfera científica, passa pela sociedade, pela confecção de material escolar e chega ao ensino desenvolvido em sala de aula. Neste trabalho, todavia, toma-se da análise de Chevallard a parte que diz respeito ao que ele intitulou de *transposição didática externa*: as transformações sofridas pelo conhecimento científico para se tornar o conhecimento disposto nos manuais didáticos.

Para Chevallard, todos aqueles envolvidos com o empreendimento escolar – pais de alunos, diretores de escolas, editoras de livros didáticos, escritores de livros didáticos, representantes governamentais – primeiramente entram em acordo quanto aos conteúdos científicos que devem ser ensinados em sala de aula. Essa decisão é pautada no que essa comunidade acredita ser necessário para a formação de seus membros, respondendo a uma demanda social. Outro aspecto que o conteúdo científico deve ter é a possibilidade de ser transformado, para que adquira uma logicidade e uma publicidade maior. Para que isso aconteça, certos processos devem ser operados sobre o conhecimento científico designado ao ensino: a dessincretização, a despersonalização e a descontextualização.

A dessincretização, segundo Chevallard, é a ação de tomar um certo conceito científico da sua trama conceitual de origem e torná-lo cada vez mais particular, autônomo. Assim, ao ser exposto em um livro didático, esse conhecimento retirado do seu contexto conceitual original é ressincretizado, ou seja, posto em um novo contexto conceitual, que pode, mas não obrigatoriamente, relacionar-se com o de origem.

A despersonalização é um processo transformador que já começa no próprio âmbito científico. Em suas comunicações aos pares, os cientistas comumente redigem seus trabalhos no tempo verbal impessoal. Para Chevallard, esse procedimento permite que outros cientistas possam utilizar o conhecimento em questão e continuar as pesquisas sobre aquilo que já foi produzido; essa é, então, uma característica essencial do trabalho científico, que deve continuar no escolar, segundo o didata, para a manutenção da publicidade daquele conhecimento, que não tem proprietários.

Chevallard, ao listar a descontextualização como um dos processos necessariamente operados sobre o conhecimento na transposição didática externa, refere-se puramente à descontextualização histórica. Ou seja, para que aquele saber seja ensinável, é necessário que

seja extraído de seu contexto de origem, garantindo, para o autor, “*a evidência incontestável das coisas naturais*” (p. 17).

Pode-se, entretanto, enxergar não apenas o último, mas todos os três processos, como descontextualizadores históricos. A dessincretização, por exemplo, nada mais é que uma descontextualização da trama conceitual de origem; já o que Chevallard chama de despersonalização é a total desapropriação daquele conceito dos cientistas que nele trabalharam.

Por alterar os aspectos mais intrínsecos da origem e do desenvolvimento de um conceito, a transposição didática externa acaba modificando também certas características epistemológicas; com a ressincretização, outros aspectos serão atribuídos ao conhecimento científico. Um efeito secundário da transposição didática externa, então, é o de propagar uma imagem da natureza da ciência e do trabalho científico que muito provavelmente não corresponde à maneira como aquele conhecimento foi concebido.

Sem dúvida, os manuais do ensino superior, dirigidos a futuros cientistas ou professores, são eles mesmos objetos de uma transposição didática. É necessário que todo o conhecimento designado como essencial à formação desses futuros profissionais seja organizado, e, assim como para o ensino básico, adquira certa logicidade e publicidade. Não obstante, uma análise mais detalhada desse processo revela o preço histórico e epistemológico que se paga na reestruturação tradicional desse saber.

4.4 AS DESCONTEXTUALIZAÇÕES PRESENTES EM UM LIVRO DIDÁTICO NO ENSINO DA RADIOATIVIDADE

A abordagem da Física Moderna nos currículos de Licenciatura em Física das universidades brasileiras é normalmente feita em dois semestres, em disciplinas intituladas Física Moderna, Física do Século 20 ou Estrutura da Matéria. A primeira etapa consiste no tratamento da velha mecânica quântica, que inclui conteúdos como a lei da radiação de Planck, átomo de Bohr, fótons, propriedades ondulatórias de partículas, até a mecânica quântica com a teoria de Schrödinger. Na segunda etapa, passa-se a estudar a física molecular, os sólidos, os núcleos e as partículas.

O livro “Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas”, de Eisberg e Resnick (1979), por exemplo, de amplo uso em cursos universitários, induz essa divisão. No prefácio, os autores sugerem que a primeira parte do livro, que trata desde a introdução dos

vários fenômenos da Física Quântica a átomos de um e dois elétrons, seja a referência para um curso de um semestre. E destacam que os capítulos seguintes (de átomos multieletrônicos até partículas elementares) podem ser tratados em cursos de menores duração e independentes, conforme a intenção do professor e do currículo envolvido. A figura 3 apresenta os títulos dos assuntos explorados pelo livro.

1 Radiação Térmica e o Postulado de Planck
2 Fótons – Propriedades corpusculares da radiação
3 O Postulado de DeBroglie – Propriedades ondulatórias das partículas
4 O Modelo de Bohr para o átomo
5 A teoria de Schroedinger da mecânica quântica
6 Soluções da equação de Schroedinger independente do tempo
7 Átomos de um elétron
8 Momentos de dipolo magnético, spin e taxas de transição
9 Átomos multieletrônicos – estados fundamentais e excitações óticas
10 Átomos multieletrônicos – excitações óticas
11 Estatística quântica
12 Moléculas
13 Sólidos – condutores e semicondutores
14 Sólidos – propriedades supercondutoras e magnéticas
15 Modelos nucleares
16 Decaimento nuclear e reações nucleares
17 Partículas elementares

Figura 3: Capítulos do livro de Eisberg e Resnick (1979)

O presente estudo visa investigar as descontextualizações no tratamento da radioatividade presentes neste texto; para tanto, é necessário frisar que foram escolhidos certos conceitos e fenômenos diretamente relacionados com a gênese e o desenvolvimento dessa ciência. O foco deste estudo é, então, além do tratamento da própria radioatividade, a abordagem dos autores para radiações X, modelos atômicos, decaimentos radioativos e modelos nucleares. Assim, possíveis descontextualizações sofridas por outros conceitos da Física Moderna no texto de Eisberg e Resnick não serão aqui consideradas.

4.4.1 Raios X

As radiações X estão presentes no capítulo 2 do livro de Eisberg e Renick. Intitulado “Fótons – propriedades corpusculares da radiação”, ele é subdividido em oito seções, quais sejam: 1) introdução; 2) o efeito fotoelétrico; 3) a teoria quântica de Einstein do efeito fotoelétrico; 4) o efeito Compton; 5) a natureza dual da radiação eletromagnética; 6) fótons e a produção de raios X; 7) produção e aniquilação de pares, e 8) seções de choque para absorção e espalhamento de fótons.

Na seção específica dos raios X, os autores explicam como é feita a produção desse tipo de radiação e discorrem sobre as limitações da teoria eletromagnética na explicação do fato de que o comprimento de onda depende somente da diferença de potencial que acelera o feixe de elétrons. Eles desenvolvem a explicação para o problema interpretando os raios X como fótons de certa energia. O exemplo dado nessa seção envolve a determinação da constante de Planck a partir do comprimento de onda mínimo produzido por um feixe acelerado a uma determinada diferença de potencial.

É interessante notar que a seção inicia da seguinte maneira: “*Os raios X, assim chamados por seu descobridor Roentgen porque sua natureza era então desconhecida, são radiações eletromagnéticas com comprimento de onda menor que aproximadamente $1,0 \text{ \AA}$* ” (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 67). Apesar desta primeira indicação de gênese histórica, nada mais nas duas páginas referentes ao assunto aponta para qualquer tipo de contextualização.

Sabe-se, atualmente, que os raios X, identificados em 1895, foram uma descoberta impactante para toda a comunidade científica. À época, os estudos sobre ionização de gases eram bastante comuns entre os físicos, e uma descoberta com a capacidade de impressionar chapas fotográficas com o negativo do esqueleto humano, somada ao aparato experimental desenvolvido por Roentgen, significava que novos esforços deveriam ser voltados para a explicação do fenômeno cuja natureza, como bem frisam Eisberg e Resnick (1979), permanecia desconhecida.

Esses esforços provaram-se frutíferos mais rapidamente em outro sentido. Investigando a conjectura levantada por Henri Poincaré¹⁰,

¹⁰ Como em um tubo de raios catódicos os raios de Roentgen se originam a partir da fosforescência produzida pela incidência de raios catódicos no vidro do tubo, Poincaré conjectura se não estariam esses dois fenômenos estreitamente relacionados em qualquer situação (PEDUZZI, 2008, p. 120).

Henri Becquerel, em 1896, observou que o urânio, cujos compostos por vezes são luminescentes, tinha a capacidade de emitir radiações de um tipo diferente. Apesar de se dar conta de que mesmo o urânio metálico – que não era luminescente – emitia tais radiações, e muito influenciado pelas hipóteses levantadas por outros cientistas, Becquerel continuou acreditando que a causa do fenômeno seria algum tipo de hiperfosforescência (MARTINS, 1990). As pesquisas nas radiações de urânio se mantiveram estagnadas por quase dois anos, quando Madame Curie viria a publicar os resultados de suas investigações sobre as radiações desse elemento, que ela também observou no tório e em seus compostos. Nascia, então, a ciência da radioatividade, como uma consequência dos grandes esforços para desvendar a natureza dos raios de Roentgen.

A fertilidade de uma construção teórica, ou seja, sua capacidade de gerar pesquisas e novas teorias é alvo de diversos estudos na filosofia da ciência. Atualmente, ela é vista como um dos valores típicos da comunidade científica – também chamados de valores epistêmicos ou cognitivos. Tais valores pesam fortemente na escolha de uma teoria, como enfatizam Kuhn (1977, p. 365) e Lacey (1998, p. 62). No entanto, não há indicativos sobre a importância da descoberta dos raios X para a radioatividade em Eisberg e Resnick, o que é um sinal claro de uma descontextualização histórico-filosófica do tema.

Cabe ressaltar ainda que o termo *fóton* foi cunhado apenas em 1926, em um trabalho de Gilbert Lewis, que o utilizou para descrever o que acreditava ser um *átomo* de luz. A esfera científica já conhecia a natureza dual da luz, trazida à tona em 1905, com a interpretação de Albert Einstein do efeito fotoelétrico. O significado atual conferido à palavra fóton – de ‘pacote’ de energia – foi primeiramente utilizado por Compton, em uma comunicação em 1927 (OKUN, 2008). Assim, o tratamento das radiações X como fótons, apesar de fazer sentido de um ponto de vista estritamente conceitual, remete a uma ressincretização do tema. Como os próprios Eisberg e Resnick (1979) apontam logo no início da seção, o nome “raio X” foi dado pelo desconhecimento de Roentgen da natureza dessa radiação. Ao conhecer a história dos fótons, o aluno poderia compreender que os estudos sobre raios X foram feitos por cerca de dez anos – e trinta sem adotar a atual nomenclatura – sem que os cientistas conhecessem exatamente sua natureza, o que explicitaria mais uma característica do empreendimento científico, omitida pela escolha da abordagem ressincretizada.

Volta-se a enfatizar que o contexto sincretizado dos estudos sobre os raios de Roentgen envolvia a ionização de gases, a associação

de raios catódicos a feixes de elétrons e, mais além, a radioatividade. Em nome de uma nova organização, o tema foi retirado de seu contexto conceitual de origem e inserido em um novo contexto, que em nada remete às relações históricas da descoberta.

4.4.2 Modelos Atômicos

No caso dos modelos atômicos, pode-se observar ainda mais claramente descontextualizações históricas, filosóficas e conceituais, especialmente pelo detalhamento escolhido pelos autores para tratar o assunto. Para o aluno em formação, certamente existe a necessidade de um maior desenvolvimento da evolução desses modelos, por diversos motivos. Além de figurarem como protagonistas na física moderna e na mecânica quântica, trabalhá-los também permite a ilustração das limitações da física clássica e as lacunas fenomenológicas que puderam ser preenchidas com a nova física. Assim, não é surpreendente que Eisberg e Resnick tenham proposto um capítulo completo sobre o assunto, o capítulo 4, logo após os capítulos 1) radiação térmica e o postulado de Planck; 2) fótons – propriedades corpusculares da radiação, e 3) o postulado de De Broglie – propriedades ondulatórias das partículas. Para a linha lógica do livro, então, parece o passo mais natural tratar de modelos nucleares logo após o desenvolvimento de radiações.

O capítulo 4 é subdividido em doze seções, que contemplam os seguintes assuntos: 4-1) o modelo de Thomson; 4-2) o modelo de Rutherford; 4-3) a estabilidade do átomo nuclear; 4-4) espectros atômicos; 4-5) os postulados de Bohr; 4-6) o modelo de Bohr; 4-7) correção para a massa nuclear finita; 4-8) estados de energia do átomo; 4-9) interpretação das regras de quantização; 4-10) o modelo de Sommerfeld; 4-11) o princípio da correspondência, e 4-12) uma crítica à antiga teoria quântica.

Ao introduzir o capítulo, a partir do modelo de Thomson, Eisberg e Resnick (1979, p. 123) novamente fazem alusão ao momento histórico do desenvolvimento daquele tópico.

Por volta de 1910, acumularam-se inúmeras evidências experimentais de que os átomos contêm elétrons (por exemplo, o espalhamento de raios X pelos átomos, o efeito fotoelétrico, etc.). Estas experiências davam uma estimativa para Z , o número de elétrons em um átomo, como sendo

aproximadamente igual a $A/2$, onde A é o peso atômico químico do átomo considerado. Como normalmente os átomos são neutros, eles devem também conter uma carga positiva igual em módulo à carga negativa de seus elétrons. Portanto um átomo neutro tem uma carga negativa $-Ze$, onde $-e$ é a carga do elétron, e também uma carga positiva de mesmo valor em módulo. O fato de que a massa do elétron é muito pequena se comparada com a de qualquer átomo, mesmo com a do mais leve, implica que a maior parte da massa do átomo deve estar associada à carga positiva.

No parágrafo seguinte, os autores, então, consideram a proposta de Thomson:

Estas considerações levaram naturalmente ao problema de como seria a distribuição de cargas positivas e negativas dentro do átomo. J. J. Thomson propôs uma tentativa de descrição, ou modelo, de um átomo, segundo o qual os elétrons carregados negativamente estariam localizados no interior de uma distribuição contínua de carga positiva.

Apesar deste reconhecido esforço de contextualização histórica, alguns problemas emergem a partir de uma análise mais minuciosa dos fatos. O modelo atômico de Thomson surgiu em sua publicação de 1904 à *Philosophical Magazine*, intitulado “*Sobre a estrutura do átomo: uma investigação da estabilidade e dos períodos de oscilação de um número de corpúsculos arranjados em intervalos iguais ao redor de uma circunferência de um círculo; com a aplicação dos resultados à Teoria da Estrutura Atômica*” (THOMSON, 1904), baseado nos estudos que levaram, em 1897, à descoberta do elétron, pelo mesmo cientista. Àquela altura, diversos outros fenômenos já intrigavam a esfera científica, como a radiação X (1895) e a radioatividade (1896).

É fundamental notar que o modelo de Thomson, que ficou conhecido como pudim de passas, não foi o primeiro modelo atômico proposto. De fato, em 1808, Dalton propôs que os elementos químicos seriam formados de átomos específicos, de mesma massa e imutáveis (KRAGH, 2000). Esse era o modelo que reinava entre os químicos adeptos do atomismo até a descoberta do elétron, em 1897.

É possível extrair, do trecho de Eisberg e Resnick (1979), a interpretação de que a ideia de átomo era consensual e corrente entre os cientistas, e que a o modelo atômico de Thomson foi bem aceito entre os cientistas. Entretanto, Dmitri Mendeleev, um químico consagrado e pai do Sistema Periódico, acreditava que descobertas como o elétron e a radioatividade pareciam ensejar a volta da alquimia, e defendia que, se essas descobertas fossem verdadeiras, deveriam ser regidas pelas mesmas leis utilizadas para os outros elementos. Esse tipo de declaração fez com que diversos físicos, entre eles o sueco Janne Rydberg (1906) e o próprio William Ramsay (1908), passassem a considerar o elétron não como partícula subatômica, mas como um átomo mais leve que o hidrogênio (KRAGH, 2000). Ou seja: a concepção da existência de um átomo constituído de partículas ainda menores não se estabeleceu de maneira simples.

Não se pode afirmar contundentemente que a opção de Eisberg e Resnick tenha essência descontextualizadora, pela escolha dos autores em introduzir a problemática a partir das controvérsias da primeira década do século passado. Entretanto, essa recontextualização deixa de lado fatores históricos que operaram fortemente sobre a construção de um novo modelo atômico, urgente à época face às novas descobertas. A proposta de Thomson foi a primeira tentativa de ajustar um modelo atômico a essas descobertas, que urgiam por uma interpretação de que o átomo era divisível. Assim, a dinâmica entre os fenômenos radioativos e os modelos atômicos foi muito mais rica do que os autores deixam transparecer, especialmente dada a distância que separa as duas temáticas – doze capítulos. Vê-se neste ponto, como no caso dos raios X, uma descontextualização dos conceitos de origem, e uma ressincronização que atende à proposta do livro, de impor uma certa logicidade na ordem dos fenômenos e conceitos a serem trabalhados.

Além disso, pode-se observar outro sinal de anacronismo¹¹: a utilização do termo número atômico (Z). O modelo atômico de Thomson foi proposto em 1904, quando os instrumentos para se caracterizar a individualidade de um átomo eram a massa atômica (A) e seu espectro. A proposta de uma nova grandeza, o número atômico, foi feita apenas em 1913, por Henry Moseley, um aluno de Ernest Rutherford, ao analisar os espectros de raios X dos mais diferentes

¹¹ Anacronismo é a falta de concordância cronológica de fatos, o que usualmente gera inter-pretações de fatos históricos a partir de perspectivas mais atuais.

elementos. Entretanto, Eisberg e Resnick situam esse número como fundamental na proposta de Thomson.

Para introduzir as limitações do modelo de Thomson, os autores lembram que ele não é capaz de fornecer uma boa explicação para os espectros observados experimentalmente, o que é feito através do exemplo 4-1. Ali, os autores evocam o cálculo da frequência de um elétron no átomo de Thomson. Ao mostrar que, para raios diferentes, consegue-se frequências de oscilação também diferentes, os autores argumentam que *“o fato de um átomo de hidrogênio, segundo Thomson, ter apenas uma frequência de emissão característica é conflitante com o grande número de frequências diferentes observadas no espectro do hidrogênio”* (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 125).

Eisberg e Resnick somam a essa limitação as evidências das experiências de espalhamento de partículas alfa, que sugeriam que a carga positiva de um átomo não estaria distribuída uniformemente. Assim, para chegar ao modelo de Rutherford, os autores fazem uma pequena menção sobre a personalidade de Rutherford, citando seu Prêmio Nobel em Química e sua própria surpresa, anos mais tarde, ao analisar sua perspicácia na interpretação dos resultados de experimentos de espalhamento. Uma descrição detalhada desse experimento segue tal trecho. É interessante frisar que os executores do experimento, Geiger e Marsden, não são inicialmente citados. No trecho *“Na figura 4-2 mostramos um arranjo típico que ele [Rutherford] e seus colaboradores utilizaram para estudar o espalhamento de partículas alfa ao atravessar folhas delgadas de várias substâncias”* (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 125), os autores deixam transparecer que o experimento foi feito também por Rutherford. Entretanto, o papel (fundamental) do físico foi a análise dos resultados; a Geiger e Marsden coube a execução, o tratamento dos dados e a publicação do experimento (GEIGER; MARSDEN, 1909; 1913).

No exemplo 4-2, que trata do resultado desse experimento, que era *“espantosamente diferente”* (p. 127) daquele previsto teoricamente a partir do modelo de Thomson, esse problema, em parte, é contornado, já que os autores fazem referência específica a Geiger e Marsden, citando, inclusive o ano da publicação (1909) do trabalho desses cientistas.

Através da análise dessa introdução ao modelo de Rutherford, partindo das dificuldades encontradas com o modelo de Thomson, pode-se observar uma despersonalização – a omissão dos nomes dos cientistas executores do experimento. A mera menção aos nomes de Geiger e Marsden e o ano do primeiro experimento, entre parênteses, em um exemplo, dificilmente pode ser considerada como um reconhecimento

de suas importâncias para tal pesquisa. Nota-se, também, haver uma repersonalização, com a sinalização de que Rutherford estaria envolvido diretamente na atividade experimental.

No sentido da contextualização filosófica e, mais especificamente, no transparecer de certos valores epistêmicos, percebe-se, para o modelo nuclear, uma postura diferente daquela tomada ao explorar os raios X. Embora Eisberg e Resnick não citem a fertilidade dos estudos da radiação X, eles o fazem para o átomo de Rutherford. “*Este foi um dos mais importantes progressos da física atômica e foi a base da física nuclear*” (p. 125) é um trecho que mostra implicitamente, ao menos, a importância de uma teoria para o nascimento de outras. Apesar dessa indicação, não é a fertilidade o valor epistêmico mais expressivo na redação dos autores. A forte ênfase na adequação empírica – ou seja, na escolha de um novo modelo, que se adaptava aos resultados surpreendentes dos experimentos – se faz presente na descrição detalhada do aparato e do procedimento experimental, além da utilização desses para a exposição das limitações do modelo atômico até então vigente.

Foi praticamente o acontecimento mais inacreditável que aconteceu em minha vida. Era tão inacreditável como se você atirasse um obus de 15 polegadas sobre um pedaço de papel de seda e ele voltasse e o atingisse” (RUTHERFORD, apud EISBERG; RESNICK, 1979, p. 127).

A opção pela citação da frase de Rutherford parece, em primeira instância, ser uma mera ilustração do impressionante universo que surgia ante o cientista; em uma análise mais aprofundada, nota-se ainda que, por mais surpreendente que fosse o resultado do experimento, a adequação empírica falava muito mais alto na construção de um novo modelo atômico.

A radioatividade, no contexto conceitual utilizado pelo livro, é citada de passagem apenas algumas vezes. Mesmo assim, pode-se observar que não é feito um elo forte entre tais pesquisas e a necessidade de desenvolvimento de novos modelos atômicos. A menção de que o Prêmio Nobel com o qual Rutherford foi agraciado fora no desenvolvimento da química de substâncias radioativas não explicita a forte influência desses estudos para as pesquisas do cientista, que culminaram na proposta de um novo átomo.

Na descrição do experimento de bombardeamento de partículas alfa em chapas de diversos materiais, Eisberg e Resnick (1979, p. 125) começam da seguinte maneira:

Rutherford já sabia que as partículas α eram átomos de hélio duplamente ionizados (isto é, átomos de He com dois elétrons retirados), emitidos espontaneamente por vários materiais radioativos com grande velocidade [...] A fonte radioativa emite partículas α que são colimadas por um par de diafragmas [...]

A afirmação de que Rutherford já conhecia a natureza das partículas alfa e de que elas eram emitidas espontaneamente por certos tipos de substância é bastante correta. O experimento que identificou definitivamente a partícula com o hélio duplamente carregado foi feito em 1908, com a colaboração de Thomas Royds, e publicado em 1909 (CORDEIRO; PEDUZZI, 2010). Entretanto, o que não é exposto pelos autores é que aquele experimento de bombardeamento fora um dos produtos da investigação exaustiva que se empreendeu na primeira década do século 20 para a compreensão não apenas da natureza da partícula alfa, mas também da natureza dos fenômenos radioativos. Desde que passaram a ser estudados profundamente pelo casal Curie, a partir de 1898, esses fenômenos intrigavam a comunidade de físicos e químicos, pois sugeriam haver, no átomo, partículas ainda menores. Outra incógnita que imperava, também em consequência do reconhecimento da radioatividade, era a enorme energia gerada pelos decaimentos.

Rutherford se dedicava a esses estudos desde 1899, quando conseguiu classificar as radiações emitidas por uma substância radioativa em α e β (a descoberta da radiação γ foi feita pouco tempo mais tarde, por Villard). Uma de suas grandes contribuições para a ciência, pela qual recebeu o Prêmio Nobel, foi a descoberta do decaimento radioativo, em colaboração com Frederick Soddy. A peculiaridade das radiações alfa, sua capacidade de ionizar fortemente o ar de suas vizinhanças, as evidências de que ela seria corpuscular e o fato de ser ejetada por um átomo instável pavimentaram o caminho para uma nova proposta de modelo atômico. No texto de Eisberg e Resnick, entretanto, nada se fala sobre essa estreita relação. Tão importantes foram os estudos das partículas alfa para o físico que, em 1908, escolheu

a descrição da busca exaustiva pela natureza das partículas alfa como tema de sua Conferência Nobel (RUTHERFORD, 1966).

Há que se ponderar ainda sobre outro aspecto. Em uma disciplina cujo foco não é a história da ciência, mas o desenvolvimento de conteúdos científicos, é natural que, da década de 1910, cite-se apenas os modelos atômicos propostos por Thomson e Rutherford. Esses foram os dois modelos que tiveram mais respaldo da comunidade científica, e foram propostos por dois cientistas bastante influentes na época. Contudo, uma imagem simplista de evolução do átomo acaba sendo consequência dessa opção. Os autores mostram a proposta de Rutherford como a escolha mais óbvia ante as evidências experimentais, transparecendo que os cientistas, em geral, aceitaram a mudança de um modelo para outro tranquilamente. Esse fato, além de não ser condizente historicamente, pode passar a imagem de que o conhecimento científico cresce linearmente, de que um modelo é nada mais que o aperfeiçoamento do vigente anteriormente; de que a ciência é acumulativa.

A história da ciência mostra, todavia, que as duas primeiras décadas do século 20 não presenciaram consenso quanto a um modelo atômico, tampouco quanto à própria existência do átomo. Outros modelos atômicos, como o de Hantaro Nagaoka e o de Jean Perrin, foram propostos naquele momento histórico, embora jamais reunindo tantos adeptos quanto os modelos descritos até aqui. Kragh (2000) mostra o quão contraditório foi o debate acerca da possibilidade da existência de partículas subatômicas, mesmo com a descoberta de novos elementos radioativos, enriquecendo a química, e do fenômeno do decaimento radioativo e o modelo de Rutherford-Bohr, na física.

Eisberg e Resnick (1979) continuam seu capítulo dedicado a modelos atômicos com a descrição detalhada do modelo de Rutherford e suas análises, seguido do modelo de Bohr, a explicação dos espectros atômicos, a interpretação das regras de quantização e finaliza com o modelo de Sommerfeld e o princípio da correspondência. Nessas subseções seguintes, a relação histórica com a radioatividade decai bruscamente, e por tal motivo não serão objetos desta análise.

4.4.3 Radioatividade e Modelos Nucleares

Os temas analisados até aqui – radiações X e modelos atômicos – são conteúdos do que os autores sugerem serem estudados em um primeiro semestre de introdução à física quântica. A partir de agora,

analisa-se a abordagem de modelos nucleares e da própria radioatividade, feitas nos capítulos 15 e 16, respectivamente.

Esta ordem, escolhida por Eisberg e Resnick (1979, p. 641), já expõe a característica de descontextualização – histórica e conceitual – do tratamento dos temas. Os autores justificam a opção na introdução do capítulo 15.

Apesar de dispormos atualmente de um conjunto de informações bastante completo sobre as forças nucleares, constata-se que elas são demasiadamente complicadas, não tendo sido possível até agora usar esse conhecimento para construir uma *teoria* ampla dos núcleos. Em outras palavras, nós não podemos explicar todas as propriedades dos núcleos em função das propriedades das forças nucleares que atuam sobre seus prótons e nêutrons. Existem, entretanto, diversos modelos ou teorias rudimentares cuja validade é restrita. Cada um deles pode explicar um certo número limitado de propriedades nucleares usando argumentos que não envolvem todos os detalhes das forças nucleares. Muito embora o desenvolvimento de uma teoria ampla esteja em constante progresso, um estudo introdutivo dos núcleos é ainda fundamentalmente o estudo dos vários modelos nucleares.

O argumento dos autores, então, mostra que eles veem como o início mais apropriado de um curso de física nuclear o tratamento dos modelos nucleares, em detrimento da abordagem histórica – que como os próprios autores sinalizaram no capítulo dedicado a modelos atômicos, iniciou-se com o átomo de Rutherford. A justificativa da escolha segue na introdução do capítulo 16:

No capítulo anterior, usamos as propriedades dos estados fundamentais dos núcleos estáveis para introduzir os modelos nucleares mais importantes. Neste capítulo, usaremos esses modelos para analisar o decaimento dos núcleos instáveis, assim como para estudar reações nucleares envolvendo núcleos estáveis e instáveis (p. 697).

Eles seguem explicando que cada um dos decaimentos ajuda na compreensão das interações nucleares, e que enriquecem o tema previamente trabalhado.

O capítulo 16 é intitulado *Decaimento Nuclear e Reações Nucleares*, e as seções que interessam a presente análise são, especificamente, as seções 16-2 e 16-3, que tratam dos decaimentos alfa e beta, respectivamente.

Os decaimentos nucleares ocorrem sempre que um núcleo, contendo um certo número de núcleons, se encontra em um estado cuja energia não é a mais baixa para um sistema com esse número de núcleons” (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 698).

A forma escolhida pelos autores para iniciar a abordagem do tema já fornece indícios de um tratamento descontextualizado historicamente. Ainda neste parágrafo, os sinais de descontextualização tonam-se ainda mais fortes.

Em alguns casos, uma reação nuclear produzida nos aceleradores de partículas é responsável pelo aparecimento de núcleos instáveis, enquanto que, em outros casos, está ligada a fenômenos naturais que ocorreram há bilhões de anos, quando nosso universo estava sendo formado. Os núcleos instáveis que se originaram desses fenômenos naturais são frequentemente denominados de radioativos; o processo que ocorre no decaimento desses núcleos é comumente chamado de decaimento radioativo ou radioatividade. Uma das razões pelas quais o decaimento radioativo é interessante é que ele fornece informações sobre a origem do universo (p. 698).

A associação da radioatividade com núcleons é certamente a opção mais natural para um ensino conceitual, que tenha como objetivo treinar o futuro cientista a resolver problemas à luz de um corpo teórico bem estabelecido, ou seja, para fins de treinamento científico do tema. Ela é fruto de uma dessincretização – pois a descoberta da radioatividade se deu antes mesmo que se descobrisse a primeira partícula subatômica, o elétron – seguida de uma ressincretização – sua proposta após a abordagem de partículas subatômicas como os prótons e nêutrons.

Na sua forma espontânea, a radioatividade foi descoberta em 1896, pela propriedade dos compostos de urânio de impressionarem chapas fotográficas. Marie e Pierre Curie investigaram outras substâncias que poderiam ter a mesma propriedade, a partir de 1898. Até aquele momento, o modelo atômico mais aceito era o modelo de Dalton, que não previa partículas subatômicas ou sequer a existência de um núcleo. Apesar disso, muito da pesquisa sobre a radioatividade foi desenvolvida antes do modelo atômico de Rutherford, que data de 1911. Até aquele momento, já se classificara os três tipos diferentes de radiações (RUTHERFORD, 1899, in CHADWICK, 1962; CORDEIRO; PEDUZZI, 2010), indentificara-se o decaimento radioativo (RUTHERFORD; SODDY, 1902) e se descobrira mais de trinta elementos radioativos (CURIE, 1966). Sem o conhecimento de um modelo atômico que pudesse explicar tais reações, outros conceitos e fenômenos físicos e químicos fizeram parte desta investigação pela compreensão da natureza da radioatividade. Assim, nota-se na redação desse manual didático um processo de dessincretização, ou seja, os autores descontextualizaram a radioatividade dos conceitos referenciais nas pesquisas iniciais sobre o fenômeno.

No intuito de acomodar a radioatividade na sequência didática escolhida, os autores então operaram um processo de ressincretização, ou seja, escolheram abordar a radioatividade através do conhecimento já exposto no capítulo anterior (modelos nucleares), para, de maneira mais rápida e lógica, explicarem algumas das razões para o decaimento radioativo.

Há que se fazer uma ressalva: radioatividade e decaimento radioativo são tratados neste parágrafo como a mesma coisa. Entretanto, fazendo uma análise histórica deste ramo da ciência, nota-se que a radioatividade – propriedade de certos elementos de emitir radiações de três tipos – foi descoberta em 1896, por Henri Becquerel, e seus estudos aprofundados pelo casal Curie e Rutherford, a partir de 1898 e 1899. Em 1902 e 1903, investigando a natureza dessa propriedade, especialmente em sais de rádio, Rutherford e Soddy descobriram os decaimentos radioativos e propuseram a Teoria da Desintegração Atômica, para a explicação do surgimento de novos elementos em compostos de tório e urânio, como o próprio rádio. Apesar de bastante semelhantes, há uma diferença histórica muito forte entre radioatividade e decaimento radioativo, fato oculto neste primeiro parágrafo da seção 16-2.

O parágrafo que segue fornece ainda mais características de transformações descontextualizadoras:

Um processo que é particularmente importante no decaimento radioativo é o decaimento α , o qual ocorre comumente em núcleos cujo número atômico é maior que $Z = 82$. Neste processo, um núcleo pai instável decai nos núcleos filhos através de emissão de uma partícula α , ou seja, o núcleo de ${}^2\text{He}_4$. Tal fenômeno ocorre espontaneamente, porque ele é favorecido por questões de energia, uma vez que a massa do núcleo pai é maior que a soma das massas do núcleo filho mais a da partícula α (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 698).

A ressincretização aqui envolve também o número atômico (Z) que foi proposto por Moseley em 1913, catorze anos após a classificação de Rutherford das radiações em α e β . Novamente, a fertilidade dos estudos sobre os raios X foi fundamental para a solidificação das pesquisas em radioatividade.

Analisando ainda esta citação, pode-se observar que os autores imediatamente trazem a explicação atualmente aceita para o decaimento α , ao mencionar a instabilidade energética de um núcleo, que permite a emissão. Essa explicação não era vigente na época em que se classificou os decaimentos; os motivos dos decaimentos permaneceram como incógnitas durante o período inicial de desenvolvimento dos estudos em radioatividade. Seguindo este trecho, Eisberg e Resnick continuam “*A energia equivalente à diferença de massa surgida no decaimento aparece sob a forma de energia cinética, quase toda ela pertencente à partícula alfa*” (p. 698). Esta explicação imediata da grande energia emitida pelos decaimentos radioativos é um vestígio do processo de descontextualização sofrido pelo tema. A questão da grande energia emitida pelo fenômeno era, além de desconhecida pelos cientistas na época, algo que provocou suas curiosidades e ensejou as propostas de diversas conjecturas, como já apontava Pierre Curie em sua Conferência Nobel, proferida em 1905 (CORDEIRO; PEDUZZI, 2010).

Ainda sobre a questão energética, os autores não mencionam as possibilidades oferecidas pelo reconhecimento dessa nova fonte de energia, configurada pelos decaimentos radioativos. Entretanto, desde o início das pesquisas sobre a radioatividade, ao se depararem com tais constatações, os cientistas prontamente passaram a ponderar acerca de aplicações da descoberta. Em menos de dez anos após a descoberta da radioatividade, indústrias européias já financiavam as pesquisas de Otto Hahn, na Alemanha, e Frederick Soddy, na Grã-Bretanha

(FREEDMAN, 1979). Esse é um sinal de descontextualização do tema em termos filosóficos.

Atualmente, na área da filosofia da ciência, mesmo não havendo consenso sobre uma imagem hegemônica da natureza da ciência, não mais se defende a existência de uma ciência completamente pura, independente de esferas externas a ela, como a social e a tecnológica. É consenso entre os analistas do empreendimento científico a forte influência social sobre a ciência. Na lista de Gil-Pérez et al (2001), sobre as visões errôneas do trabalho científico, consta a imagem socialmente neutra da ciência. No caso do livro de Eisberg e Resnick, a lacuna desta importante relação entre o investimento industrial nas pesquisas em radioatividade acaba por reforçar a ideia de que a ciência parece ser independente de outras esferas.

Mais à frente, os autores introduzem o conceito de meia-vida através da noção de taxa de decaimento, tratada no capítulo 6 – Soluções da equação de Schroedinger independente do tempo, subitem 6-6, intitulado “Exemplos de penetração de barreiras por partículas”, sendo este mais um indício de descontextualização conceitual. Essa dessincretização torna-se ainda mais flagrante ao se observar que o capítulo 6 faz parte, em princípio, de uma primeira divisão dos conteúdos do livro para a sua abordagem em disciplinas, segundo sugestão dos próprios autores.

Mas além de conceitual, essa descontextualização é também histórica. Em 1900, Rutherford lança a noção de meia-vida após realizar diversos experimentos com as emissões das emanações de tório. Ele examinou a capacidade de penetração das radiações em camadas de papel de diversas espessuras e demonstrou uma expressão que permitia calcular o tempo necessário para que as emissões decaíssem à metade (RUTHERFORD, 1900, in CHADWICK, 1962).

Contudo, Eisberg e Resnick fazem a demonstração de maneira diferenciada. “*Consideremos agora um sistema contendo muitos núcleos da mesma espécie em um dado instante. Estes núcleos se desexcitam por decaimento alfa [...] com a taxa de decaimento R*” (p. 700). Após a demonstração da lei do decaimento exponencial, eles então calculam a vida média, assumindo que ela seja, por definição, inversamente proporcional à taxa de decaimento R.

Nas pesquisas iniciais do desenvolvimento da radioatividade, feitas especialmente durante a primeira década do século 20, os estudos sobre as partículas alfa foram levados com muito mais intensidade. A identificação da natureza dessas partículas foi crucial para o desenvolvimento também do modelo atômico de Rutherford. Elas

atraíram a comunidade científica após o reconhecimento de que eram as responsáveis pela forte ionização do ar das vizinhanças de um elemento radioativo. As radiações beta, que inicialmente chamaram também muita atenção, após serem identificadas como elétrons, não geraram tanta preocupação entre os cientistas. Entretanto, com o modelo atômico nuclear de Bohr, que postulava um núcleo de cargas positivas, novamente entraram em cena. Apesar de esse período histórico, posterior ao modelo atômico de Rutherford, não ser o foco deste trabalho, aqueles que puderem fazer uma análise da seção de Eisberg e Resnick que trata desse tipo de decaimento, certamente encontrarão vestígios de descontextualização, especialmente no que concerne os tratamentos conceituais de pósitrons, neutrinos e anti-neutrinos.

4.5 QUE IMAGENS DEFORMADAS DO TRABALHO CIENTÍFICO AS SEÇÕES EM QUESTÃO PROPAGAM?

Alguns estudos sobre a importância da propagação de imagens mais apropriadas da natureza da ciência têm sido feitos nas últimas décadas, no âmbito da educação científica. Entende-se, atualmente, que o discurso de professores e de livros didáticos são os maiores responsáveis pela difusão de uma ideia de ciência ainda fortemente empirista (ARRUDA; LABURÚ, 1998; GIL-PÉREZ et al, 2001).

No cenário da filosofia da ciência, entretanto, essa imagem foi fortemente combatida desde a década de 1960, especialmente no Colóquio Internacional de Filosofia da Ciência de 1965, em Londres (LAKATOS; MUSGRAVE, 1970; OSTERMANN, 1996). A reaproximação dessa área com o ensino de ciências gerou um grande número de trabalhos, e atualmente se compreende que, para a formação científica do aluno – seja ele futuro cientista ou não – é fundamental que ele possua um entendimento mais amplo e realista do empreendimento científico (MATTHEWS, 1995).

Há muitas teorias na filosofia da ciência acerca da natureza da ciência e da atividade científica e outras questões intrinsecamente ligadas a ela, não havendo uma única posição consensual entre os filósofos. Contudo, as críticas às características do que se compreende por empirismo ingênuo, por exemplo, são compartilhadas pela maioria das linhas filosóficas.

Gil-Pérez et al (2001), em um estudo aprofundado da literatura em ensino de ciências, que toma como base as filosofias da ciência de Gaston Bachelard, Thomas Kuhn, Karl Popper, Mario Bunge e Imre Lakatos, propuseram sete características que, nessa área, configuram

imagens de ciência muito propagadas pelo ensino tradicional, mas que, atualmente, são insatisfatórias. Os autores denominaram-nas *imagens deformadas do trabalho científico*. São elas:

- 1) A imagem de que a ciência cresce linearmente (acumulativa);
- 2) A imagem de que se faz ciência a partir de um passo-a-passo (algorítmica);
- 3) A imagem de que a teoria vem depois da experiência (ateórica);
- 4) A imagem de que os problemas surgidos não têm importância na construção de uma teoria científica (ahistórica);
- 5) A imagem de que a ciência responde a questões cada vez mais específicas, sem preocupação com o corpo global de conhecimentos e suas relações (exclusivamente analítica);
- 6) A imagem de que a ciência só pode ser feita por gênios, e que eles a fazem sem a ajuda de outros cientistas (individualista);
- 7) A imagem de que a ciência não sofre a influência de outras esferas, como a tecnológica e, especialmente, a social (neutra).

O tratamento dos modelos atômicos de Eisberg e Resnick traz, implicitamente, uma imagem acumulativa do conhecimento científico. O problema de se propagar essa concepção de ciência jaz na dificuldade de interpretação do papel regido por grandes divergências teóricas no avanço científico. Esses momentos, denominados por Kuhn (1996) de revoluções científicas, têm enorme importância na explicação de fenômenos novos que necessitam de grandes reestruturações teóricas. Além disso, conferem à ciência sua característica de empreendimento inacabado, aspecto muito importante na compreensão das abrangências e propostas do conhecimento científico (WEBER, 1968).

Ainda no estudo dos modelos atômicos, os autores transparecem a imagem ateórica do trabalho científico. Ao associarem a força do modelo de Rutherford aos experimentos de espalhamento de partículas alfa, e omitindo a longa trajetória do físico no estudo da radioatividade e na pesquisa pela natureza daquelas partículas, Eisberg e Resnick implicitamente propagam a ideia de que tal modelo atômico veio como mera consequência do experimento. Entretanto, Geiger e Marsden eram alunos de Rutherford em Manchester e o experimento por eles executado fora uma sugestão do próprio físico, que na época

ocupava-se das pesquisas em radiações alfa e beta. Seria ingênuo imaginar que tal aparato experimental teria sido construído e executado sem uma teoria, ou uma questão subjacente que concernia a natureza daquelas radiações. O resultado, a reformulação do modelo atômico, apesar de inesperado, não foi fruto de uma pesquisa atórica.

Propagar a ideia de que a ciência é essencialmente atórica é danoso, pois intenta conferir ao empreendimento a certeza dos dados fornecidos pela própria natureza. Entretanto, a sofisticação alcançada pela ciência moderna não mais permite tal interpretação; aparatos instrumentais são, eles mesmos, objetos de teorias prévias, e os dados por eles providos são interpretações à luz de uma certa teoria dos estímulos instrumentais. Contudo, a justificativa de que a ciência se preocupa primariamente com dados observáveis confere a ela o *status* de conhecimento superior dentro do senso comum; além de uma concepção errônea da natureza da atividade, também é uma ideia perigosa, pois desqualifica, ou inferioriza, outros tipos de conhecimentos, muito importantes nos diversos contextos sociais.

A sistemática dessincretização – seguida de uma ressincretização – dos conteúdos, como exposto na análise anterior, também acaba por propagar a imagem ahistórica da ciência. Ao abordar conteúdos como os modelos atômicos, radiações X e os decaimentos radioativos em novos contextos conceituais, ou seja, envolvendo números atômicos, fótons e núcleos atômicos, respectivamente, o livro retira esses conteúdos dos problemas científicos que surgiram na época. A opção pela explicação lógica dos fenômenos, que exige conhecimentos surgidos posteriormente às teorias, remete a um anacronismo que omite a característica fortemente problemática do empreendimento científico.

Quanto à imagem individualista da ciência, pode-se constatar na análise que ela é bastante forte no texto de Eisberg e Resnick. A menção aos grandes nomes não exime o discurso do livro desse aspecto; pelo contrário, essa repersonalização contribui pela propagação da ideia de que apenas mentes privilegiadas são capazes de fazer ciência. A omissão, no corpo do texto, da participação fundamental de Geiger e Marsden nos experimentos que culminaram com a proposta de um novo modelo atômico, citando-os em um simples exemplo, contribui para a concepção de que Rutherford foi o único cientista responsável pela grande conclusão. Apesar do protagonista, os coadjuvantes de uma teoria científica são essenciais para a construção do conhecimento, pois a ciência é, essencialmente, uma atividade coletiva, e conhecimento

científico apenas se consolida como tal após a apreciação dos pares (LONGINO, 1990).

Para os estudantes, é de primeira importância compreender que, apesar de o passo crucial para a consolidação de uma teoria científica ter sido dado por alguém como Thomson, Rutherford ou os Curies, o trabalho de muitos outros cientistas foi essencial. A crença de que a ciência é feita apenas por grandes mentes desestimula o estudante que, ao não se considerar tão genial quanto os personagens festejados pelos livros didáticos, se desinteressa em seguir carreira científica ou, mesmo, de tentar compreender a ciência.

Como um todo, o discurso de Eisberg e Resnick negligencia a ilustração do papel da sociedade e da tecnologia na ciência, e vice-versa. E no caso da radioatividade, as influências foram muitas. Novamente, a opção por uma abordagem estritamente conceitual é a responsável pela omissão desse aspecto tão importante para a compreensão do trabalho científico. Atualmente, tanto na filosofia da ciência quanto na educação científica, não mais se acredita em uma ciência neutra. O livro, no entanto, não contribui para a desmistificação desse caráter neutro da ciência ao relegar tais assuntos.

A transmissão de cada uma dessas imagens deformadas do trabalho científico traz consigo problemas que vão além – ou que são consequências diretas – da não compreensão do que é ciência. A pouca inclinação à ciência, por exemplo, tem causado grandes evasões escolares, baixos níveis em testes internacionais e pouca procura por carreiras científicas. A não compreensão do que é ciência também acarreta na baixa participação dos cidadãos na tomada de decisões sócio-científicas e a vulnerabilidade à opinião daqueles que exercem o poder. Essas situações vêm sendo pesquisadas pela comunidade acadêmica de ensino de ciências; os bons resultados dependem da inserção de discussões acerca da natureza da ciência, de alguma maneira, na formação de professores e futuros cientistas, para que eles, então, possam fazer sua parte na formação mais básica.

4.6 O QUE SE GANHA? O QUE SE PERDE?

A abordagem de Eisberg e Resnick para a radioatividade e conceitos correlatos parece trazer consigo algumas fragilidades históricas e filosóficas. Contudo, essa formatação de livros didáticos, que prioriza os conceitos e a sua logicidade dentro de um percurso didático é, de certa maneira, tradicional; abordagens similares são feitas

também em outros livros direcionados para o mesmo público (HALLIDAY et al, 2009; TIPLER; MOSCA, 2006).

O fato de parecer haver uma tradição estabelecida leva à necessidade de se ponderar sobre uma questão importante: o que se ganha e o que se perde ao ensinar física de maneira descontextualizada?

Na Transposição Didática, Chevallard defende que as transformações do saber são feitas para que ele adquira logicidade e publicidade e para que ele dê conta de expectativas da sociedade para a educação.

Quanto à publicidade, é necessário que se construa um material ordenado, que permita a leitura, remetendo à logicidade dos conteúdos. Assim, certas escolhas devem ser feitas – mais especificamente, dessincronizações e resincronizações – para que se atinja esse objetivo.

A logicidade diz respeito à importância de se fazer relações entre os conteúdos; neste caso, a ordem cronológica nem sempre é respeitada e, por vezes, pode servir inclusive como obstáculo. Tome-se como exemplo a dedução da meia-vida feita por Eisberg e Resnick: os autores utilizam um conceito de penetração de barreiras, com a solução da Equação de Schroedinger, para fazer uso da taxa de decaimento R . Dessa maneira, eles relacionam conteúdos que, apesar de não terem relação histórica, de algum modo, facilitam o desenvolvimento da operacionalidade da teoria e, supostamente, ensejam uma melhor compreensão conceitual.

A intenção de Eisberg e Resnick fica, então, bem traduzida pela análise de Chevallard. A ideia de que o ensino de física deva abordar simplesmente os conteúdos exige essa logicidade. Enquanto os objetivos da disciplina de Estrutura da Matéria e afins forem esses, o livro atende a essas expectativas. Entretanto, há objetivos da formação mais geral, tanto do cientista, quanto do professor, que não serão atingidos enquanto as disciplinas do currículo desses cursos tiverem abordagens como a de Eisberg e Resnick.

Na área de educação científica, muito se vem produzindo sobre a necessidade de compreensão da natureza da ciência. Mesmo que as discussões filosóficas não sejam fator decisivo para a atuação de um físico, é grandemente desejável que futuros cientistas tenham alguma compreensão da natureza do trabalho que farão (FRANK, 1947; 2004). Entretanto, no contexto brasileiro, o bacharel em física, para atuar na área de pesquisa – que é feita, em grande parte, nas universidades – deve dedicar horas à atividade docente. Assim, esse futuro cientista será, ele mesmo, um futuro formador de professores e cientistas.

No caso de futuros professores de níveis superior e médio, a importância da contextualização histórica e da compreensão filosófica da ciência encontra ainda mais argumentos nas pesquisas da área. Há linhas de pesquisa que questionam a abordagem fortemente conteudista no ensino médio, defendendo a importância da inserção de tópicos de história e filosofia da ciência para que a formação do aluno propicie, além de alguma base conceitual para a compreensão cotidiana dos fenômenos naturais, também uma melhor compreensão do trabalho do próprio cientista e um entendimento do papel da ciência na sociedade em que ele vive – e isso passa pela maturação das concepções de ciências desses alunos (SOLOMON, 1993; MATTHEWS, 1995; GIL-PÉREZ et al, 2001).

Para que os professores em geral consigam fazer isso, é necessário que tenham, em sua formação, subsídios para tais incursões. O tratamento da história da ciência, de maneira meramente ilustrativa ou, como no caso de Eisberg e Resnick, para a introdução de seções, seguramente não configura o que se almeja por contextualização histórica. É importante que se atente para a qualidade da história da ciência que esses professores estão aprendendo, pois, provavelmente, será essa concepção que eles irão propagar quando em suas atividades docentes. Certos erros históricos, como os detectados no texto de Eisberg e Resnick, acabam por propagar também imagens deformadas da atividade científica ao aluno. Para que os objetivos de formações mais contextualizadas nos diversos níveis de ensino sejam alcançados, sem o comprometimento da formação conceitual sólida desses futuros cientistas e professores, é fundamental que certas ações sejam desenvolvidas.

Uma delas, de implementação mais imediata, seria a de transferir diretamente para o professor, em sala de aula, a responsabilidade de fazer as inserções, os complementos e as correções históricas necessárias em disciplinas baseadas em textos tradicionais, como o de Eisberg e Resnick. Mas, cabe a pergunta, estaria esse professor preparado para isso?

Outra possibilidade (sem excluir o apoio de disciplinas de cunho didático, nesse caso voltada apenas para o aluno da licenciatura) seria a de se investir em mais pesquisas em disciplinas que contemplem em suas ementas o tratamento histórico da física, de seus conceitos, de seus métodos. cursadas tanto por alunos da licenciatura como do bacharelado, elas podem oferecer discussões epistemológicas valiosas para a formação desses estudantes. Não obstante, e talvez de forma incompreensível, em muitos currículos universitários brasileiros não há

disciplinas específicas com esse enfoque. A pesquisa e seus resultados podem mudar esse quadro.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, S. M., LABURÚ, C. E. Considerações sobre a função de experimentos no ensino de ciências. In: NARDI, R. (org). *Questões atuais no ensino de ciências*. São Paulo: Escrituras, 1998.

CHADWICK, J. **The Collected Papers of Lord Rutherford of Nelson, Volume I: New Zealand – Cambridge – Montreal**. Nova York: Interscience, 1962.

CHEVALLARD, Y. **La transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné**. La Pensée Sauvage Éditions, 1991.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. **Características do trabalho científico na história do desenvolvimento da radioatividade**. Artigo submetido a publicação, 2010.

CURIE, M. Radium and the new concepts in chemistry. In: **Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1966.

EISBERG, R., RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FRANK, P. The Place of the Philosophy of Science in the Curriculum of the Physics Student. **American Journal of Physics**, v. 15, n. 3, pp. 202 – 218, 1947.

FRANK, P. The Place of the Philosophy of Science in the Curriculum of the Physics Student. **Science&Education**, Amsterdã: Elsevier, v.13, pp. 99 – 120, 2004.

FREEDMAN, M. I. Frederick Soddy and the Practical Significance of Radioactive Matter. **The British Journal for the History of Science**. v. 12, n 42. 1979.

GEIGER, H., MARSDEN, E. On a diffuse reflection of the alpha particles. **Proceedings of the Royal Society**. Londres, v. 82, p. 495 – 500, 1909.

GEIGER, H., MARSDEN, E. The Laws of deflexion of alpha particles through large angles. **Philosophical Magazine**, s. 6, v. 25, n. 148, abr. 1913.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, São Paulo, v.7, n.2, p. 125 – 154, 2001.

HALLIDAY, D. et al. **Fundamentos de Física**. Rio de Janeiro: LTC. 8ª Ed, v. 1, 2, 3, 4; 2009.

KRAGH, H. Conceptual changes in chemistry: the notion of a chemical element ca. 1900 – 1925. **Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, v.31, n.4, dez. 2000.

KUHN, T. Objetividade, juízo de valor e escolha teórica. IN: **A Tensão Essencial**. Lisboa, Edições 70, pp. 383-405, 1977.

KUHN, T. **The Structure of Scientific Revolutions**. Chicago: The University of Chicago Press, 3ª ed., 1996.

LACEY, H. **Valores e Atividade Científica**. São Paulo: Discurso Editorial, 1998.

LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. **Criticism and the growth of knowledge**. Cambridge: Cambridge University Press, 1970.

LONGINO, H. E. **Science as a Social Knowledge: values and objectivity in scientific inquiry**. Princeton: Princeton University Press, 1990.

MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 7 (numero especial), p. 27 – 45, 1990.

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, dez. 1995.

OKUN, L. B. Photon: history, mass, charge. **ArXiv.org: High Energy Physics**. Cornell University, fev. 2008.

OSTERMANN, F. A Epistemologia de Kuhn. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 13, n. 3, p. 184 – 196, 1996.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Publicação interna. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 202 p.

RUTHERFORD, E.; SODDY, F. The cause and nature of Radioactivity. **Philosophical Magazine**, v. 4, p. 370 – 396, 1902.

RUTHERFORD, E. The Chemical Nature of the Alpha Particles of the Radioactive Substances. In: **Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1966.

SOLOMON, J. **Teaching Science, Technology and Society. Developing Science and Technology Series**. Bristol: Taylor and Francis, 1993.

THOMSON, J. J. On the Structure of the Atom: na Investigation of the Stability and Periods of Oscillation of a number of Corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a Circle; with Application of the Results to the Theory of Atomic Structure. **Philosophical Magazine**, s. 6, v. 7, n. 39, p. 237 – 265, mar. 1904.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. Tradução de Fernando Ribeiro da Silva e Mauro Speranza Neto. Rio de Janeiro: LTC; 5ª Ed., v. 1, 2, 3, 4; 2006.

WEBER, M. **Ciência e Política: duas vocações**. Tradução de Leônidas Hegenberg e Octany Silveira da Mota. São Paulo: Cultrix, 1968.

CAPÍTULO 5

Um módulo sobre a radioatividade: sua história e sua transposição didática

5 UM MÓDULO SOBRE A RADIOATIVIDADE: SUA HISTÓRIA E SUA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

5.1 RESUMO

Neste trabalho, descreve-se a implementação de um módulo sobre a história da radioatividade e aspectos epistemológicos relacionados à gênese ao desenvolvimento dessa ciência, feita na disciplina de Evolução dos Conceitos da Física, da Universidade Federal de Santa Catarina. Parte desse módulo também envolveu a análise do assunto presente em dois livros didáticos: Eisberg e Resnick (1979), feita de maneira expositiva, e Ferraro et al (2010), feita pelos alunos através de um conjunto de questões complementado de entrevistas semi-estruturadas. Ao fim, discute-se o valor da história e da filosofia da ciência não apenas para o ensino, mas também para o reconhecimento da transposição didática e a identificação de possíveis lacunas existentes em livros didáticos que podem ser saneadas com a participação ativa do professor.

Palavras-chave: Radioatividade. Transposição Didática. História da Ciência.

5.2 INTRODUÇÃO

Desde a década de 1960, a filosofia da ciência tem mostrado que a ciência é muito mais rica e complexa do que preconizavam as concepções empírico-indutivistas. Os filósofos em particular, mas também muitos historiadores da ciência e cientistas, discorrem sobre as mais diversas dimensões da ciência, como sua pluralidade de métodos, a influência de valores sociais, tecnológicos e epistêmicos na escolha teórica, a existência de grupos de pesquisas, as características de revoluções científicas e os estudos sociais da ciência. A variedade de ângulos a partir dos quais se pode observar e interpretar a atividade científica é generosa. Exemplos de consolidadas filosofias da ciência podem ser encontrados nas ideias de Kuhn, Popper, Feyerabend, Lakatos e Laudan, que fazem uso recorrente da história da ciência como fonte inspiradora de suas concepções.

Os aspectos são tantos, que não se pode esperar que um livro didático direcionado a disciplinas de física, cujo objetivo primordial é o de ensinar conceitos e fenômenos, tenha também a plena capacidade de explorar tantas vertentes epistemológicas e fornecer ao aluno uma compreensão completa do debate que se processa na área da filosofia da

ciência. Não obstante, há pelo menos duas décadas, acredita-se que um ensino conceitual sólido precisa ser complementado com discussões de caráter histórico-epistemológico, por uma série de motivos (MATTHEWS, 1992; GIL-PÉREZ et al, 2001).

Podem parecer dissonante, mas, na realidade, não é. Apesar do largo espectro de interpretações da atividade científica, desde a década de 1960 conceituados filósofos concordam sobre diversos aspectos da investigação científica. Em um trabalho de 2001, Gil-Pérez e colaboradores mapearam sete ideias sobre essa atividade que não mais condizem com as teorias mais atuais da filosofia da ciência. Desse modo, parece que a variedade de interpretações epistemológicas pode ficar essencialmente restrita a elas, o que de certo modo permite sua inserção dentro das salas de aula de ciências. Mas, embora essas sete imagens distorcidas sejam amplamente divulgadas em periódicos e reuniões científicas, elas se mostram ainda enraizadas no imaginário dos professores, seja por desconhecimento (falta de acesso à informação) ou por resistência.

Centrando-se então esse problema na variável professor, onde se pode encontrar a fonte dessas interpretações equivocadas? Não raro, atribui-se essa falta aos livros didáticos que, inegavelmente, constituem-se na principal fonte de informação do professor em serviço. À parte a tradição de descrever “o método científico”, que já está sendo deixada de lado pelos livros didáticos mais atuais, deve-se voltar atenções ao que está implícito no discurso dessas obras. Elas são elaboradas para satisfazer uma demanda – a de se ensinar física – e, para tanto, reorganizam os conhecimentos de maneira a criar uma estrutura lógica e acumulativa, supostamente de fácil apreensão por parte dos alunos. Chevallard (1991) faz a mais conhecida análise dessas reorganizações, conhecida como etapa externa da Transposição Didática.

Então, com essa mudança de perspectiva, parece que se encontra a origem principal do problema: as transformações sofridas pelos conhecimentos – ou saberes, como denominou Chevallard (1991) – para constar no livro didático. Mas essa primeira avaliação esconde a outra dimensão da Transposição Didática, que também é bem descrita pelo didata francês: a transposição didática interna. Nessa fase do processo de ensino, três são os atores fundamentais: o saber, o professor e o aluno. Se ao livro didático for atribuída toda a responsabilidade de veículo do saber, o professor assume, invariavelmente, a função de mero mediador da relação do aluno com o conhecimento incontestável oferecido pela obra. Aqui se encontra a excessiva simplicidade de se imputar a culpa da propagação de imagens equivocadas do trabalho

científico unicamente à disposição dos conhecimentos nos livros didáticos.

Deve-se, neste caso, voltar as atenções aos professores. Eles não atuam como meros mediadores do processo de ensino aprendizagem; eles próprios são fontes de conhecimento na sala de aula. Passaram por formação específica para a atividade docente, o que os qualifica como atores do processo de ensino-aprendizagem. Deles espera-se a capacidade de avaliar e criticar o que, por ventura, não for adequado no livro didático – tanto em termos estritamente conceituais, quanto em termos históricos e filosóficos.

Essa capacidade, no entanto, depende de conhecimentos sólidos, que o professor deve conseguir durante sua formação e depois dela, no exercício diário de atualização de seus saberes. Para conseguir distinguir as transformações sofridas pelos conceitos físicos constantes no livro didático, assim como reconhecer aspectos da filosofia da ciência, é essencial que o professor em formação conheça, também, a história da física. E o espaço que ela tem nos cursos de física, em geral, é em disciplinas de evolução ou história dos conceitos e afins. No Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, há uma disciplina sobre a história da física, cursada compulsoriamente e em conjunto por alunos da licenciatura e do bacharelado, ao final de sua formação.

O presente trabalho descreve e avalia um módulo de ensino sobre os primeiros anos da história da radioatividade, implementado nessa disciplina. Constituído de três aulas, onde foram expostas a história desse fenômeno, discutidas questões epistemológicas centradas nas características do trabalho científico apresentadas por Gil-Pérez et al (2001) e analisada a transposição didática da radioatividade em Eisberg e Resnick (1979), esse módulo culminou com a proposta de um exercício aos alunos: uma análise da transposição didática da radioatividade presente em Ferraro et al (2010) – livro didático dirigido ao ensino médio.

Ao fim, com a coleta de dados provinda das observações livres na sala de aula, das questões respondidas textualmente pelos alunos e de entrevistas semi-estruturadas, pretende-se responder às seguintes perguntas: em que grau os alunos conseguiram reconhecer a didatização da radioatividade e suas consequências em termos epistemológicos? Eles foram instrumentalizados satisfatoriamente para agir como atores no processo de ensino de aspectos históricos e da natureza da ciência associados a esse fenômeno (e não como meros mediadores)? Que

soluções eles conseguiram apontar para as lacunas que, invariavelmente, o livro didático está sujeito a propagar?

5.3 A DISCIPLINA, OS SUJEITOS DE PESQUISA, O MÓDULO E SUAS BASES TEÓRICAS

A disciplina Evolução dos Conceitos de Física estrutura-se, basicamente, segundo cinco livros (PEDUZZI; CORDEIRO; NICOLLODELLI, 2011), que abordam um amplo espectro de conceitos e teorias da Física, suas gêneses e seus desenvolvimentos, do nascimento da ciência, com os gregos do século VI a.C., à física dos quarks.

No segundo semestre do ano letivo de 2010, dez alunos cursaram a disciplina, com frequência suficiente. Desses, cinco eram estudantes de bacharelado e cinco, de licenciatura. Dentre eles, três cursavam a última fase e sete tinham formatura prevista para o primeiro semestre de 2011.

O módulo de ensino foi constituído de três textos desenvolvidos pelos autores (CORDEIRO; PEDUZZI, 2010a; 2010b; 2010c), que serviram como base para três aulas de dois períodos (1h40min). O fenômeno objeto de estudo desse módulo foi a radioatividade, desde sua gênese, em 1896, até a consolidação da noção de isótopos, que data de 1913. O estudo teve os seguintes objetivos:

a) Analisar a transposição didática operada sobre o fenômeno da radioatividade e suas consequências para o ensino.

Para essa análise, duas pesquisas teóricas foram desenvolvidas. Em uma delas (CORDEIRO; PEDUZZI, 2010d), estuda-se a Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991), revisa-se a literatura nacional sobre o tema e se discorre sobre as deformações da atividade científica produzidas pelos processos de didatização dos conceitos científicos. Assim, trata-se especificamente dos possíveis efeitos colaterais dos processos didáticos operados sobre o conhecimento científico, designados por Chevallard como descontextualização (histórica), dessincritização (espécie de descontextualização conceitual, em que se pretende tomar um conceito de sua trama de origem e torná-lo autônomo, permitindo nos livros didáticos uma ressincritização, ou a associação desse conceito a outros, que faça sentido dentro do encadeamento conceitual escolhido pelo autor) e despersonalização (a desapropriação do conceito daqueles que o desenvolveram).

A segunda pesquisa, que gerou o artigo “Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade”, procura evidenciar o processo de didatização sofrido pela radioatividade no livro de Eisberg e Resnick (1979). Assim, aponta-se para variadas distorções históricas e epistemológicas, e se discute como se pode contornar essas falhas na abordagem desse assunto em sala de aula.

b) Desenvolver e implementar três aulas (de cunho histórico, epistemológico e didático) sobre a radioatividade, voltadas para o aluno de Evolução dos Conceitos da Física.

A primeira parte do trabalho de produção do módulo foi a elaboração do material base. Para isso, inicialmente, investigou-se os aspectos históricos da gênese e do desenvolvimento da radioatividade, no período que vai de 1896 a 1913. Então, foram identificados nessa história os aspectos filosóficos e conceituais relevantes à discussão na disciplina Evolução dos Conceitos da Física. Assim, foi feita uma longa pesquisa em diversos documentos históricos, artigos de historiadores da ciência e biografias de cientistas. Como produtos dessa pesquisa, dois artigos foram elaborados: “As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino” e “Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade”.

A partir das exposições e análises feitas por esses dois artigos e pelo texto de análise da transposição didática, foram desenvolvidas três aulas, com exposição de slides e convite a debates acerca da legitimidade de uma descoberta científica e da influência de esferas exteriores à ciência, entre outras coisas. Uma das características da disciplina, de recorrentemente invocar a participação dos alunos e seus posicionamentos acerca das leituras (compulsórias ou pessoais), foi não apenas respeitada, mas norteadora do desenvolvimento e da implementação dessas aulas.

As aulas foram inseridas nos estudos do terceiro livro da disciplina, denominado “Do átomo grego ao átomo de Bohr” (PEDUZZI, 2008), em um segmento da disciplina voltado à investigação da evolução do atomismo, dos seus primórdios, em Demócrito, até a velha mecânica quântica.

Apesar de livros didáticos apresentarem uma abordagem fortemente conceitual da radioatividade, geralmente tratada em seções sobre reações nucleares, nos capítulos de física nuclear, a história desse ramo da ciência é riquíssima na sua relação intrínseca com o

desenvolvimento de modelos atômicos. Além disso, a radioatividade – juntamente com os raios X e a descoberta dos elétrons – foi um dos fenômenos que estremeceram as concepções clássicas da física, ao fim do século 19. Estes aspectos, então, justificam sua inserção nos estudos da evolução do atomismo, e não apenas como capítulo introdutório dos estudos de física nuclear.

c) Avaliar a capacidade de reconhecimento dos alunos dos processos de didatização de conteúdos relacionados à radioatividade, com o auxílio da história e da filosofia da ciência

Essa avaliação levou em consideração as observações feitas em sala de aula, durante o desenvolvimento dos conteúdos, o resultado de um conjunto de questões propostas aos alunos e os dados provenientes das entrevistas semi-estruturadas realizadas ao final da intervenção.

5.4 IMPLEMENTAÇÃO

5.4.1 Primeira aula

A primeira aula tratou da história da gênese da radioatividade. Seu texto base é o artigo “As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino”. Ele desenvolve um estudo partindo desses dois registros históricos, em sistemática relação com outros trabalhos clássicos e de historiadores da ciência. O casal Curie foi pioneiro nos estudos da radioatividade, lançando novas interpretações a esse fenômeno, **detectado** por Henri Becquerel, em 1896, o que justifica sua posição central no desenvolvimento da aula.

Dentre os trabalhos utilizados para a construção de algumas discussões de cunho histórico e epistemológico, utilizou-se artigos de historiadores da ciência, como Martins (1990, 1997, 2003, 2005) e Kragh (1997, 2000). Um desses trabalhos (MARTINS, 1990), permitiu a debate sobre o significado de atribuir a alguém uma descoberta científica, pois o historiador aponta para o fato de que Becquerel, apesar de ter publicado seus estudos sobre as emissões de urânio, não levantou nenhuma hipótese acerca da natureza atômica daqueles “raios”, fato feito apenas por Madame Curie, dois anos após as primeiras publicações sobre o assunto, na França. Convidou-se também o aluno a pensar, com base em outra polêmica levantada por Martins (2005), sobre os fatores influenciadores na atribuição do Prêmio Nobel de Química de 1911, que, segundo o historiador, foram motivados fortemente por aspectos

sociológicos. Quanto aos trabalhos de Kragh (1997, 2000), o texto e a aula se dedicaram a explorar a dinâmica entre as descobertas envolvidas nas pesquisas iniciais em radioatividade com os incipientes modelos atômicos da época e a noção de elemento químico.

Também foram utilizadas algumas biografias de Marie Curie (CURIE, 1962; MCGRAYNE, 1995; PASACHOFF, 2009) para explorar o envolvimento pessoal do casal com a ciência que desenvolveram. São notáveis os exemplos expostos por essas obras de superação do casal ante os mais diversos obstáculos para a continuidade de seus estudos. Além disso, sendo a família Curie a mais laureada com Prêmios Nobel, intencionou-se explorar esse aspecto para a atração dos alunos ao tema.

Em termos epistemológicos, procurou-se fazer um contraste entre o discurso de ambos os físicos com certas imagens equivocadas do trabalho científico, estudadas por Gil-Pérez et al (2001), em consonância com os objetivos do presente estudo. Assim, como um dos grandes objetivos dessa aula, passagens das Conferências Nobel foram utilizadas como fortes contra-exemplos a concepções de ciência fortemente enraizadas no ideal empírico-indutivista.

5.4.2 Segunda aula

Assim como na primeira aula, o artigo “Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade” constou como leitura prévia compulsória para os alunos. A metodologia de exposição e discussão do conteúdo foi semelhante a da aula anterior.

Na aula, dedicou-se esforços para explorar as pesquisas de cientistas que consolidaram a radioatividade – e, dentre eles, especialmente, a figura de Ernest Rutherford. Assim, com o auxílio de trabalhos clássicos dos cientistas envolvidos neste período, como Rutherford e Soddy (1903), Geiger e Marsden (1909), Rutherford (1909; 1966) e Soddy (1966), foram mostrados, nas palavras dos próprios físicos e químicos, os experimentos, as conclusões, as hipóteses balizadoras das investigações, as dificuldades com o corpo teórico consolidado e a relação intrínseca entre as pesquisas com radioatividade e a construção do modelo atômico nuclear.

Como fontes de discussões epistemológicas, fez-se dialogar esse estudo histórico com as cinco características do empreendimento científico mapeadas por Gil-Pérez et al (2001). Assim, discutiu-se com a devida profundidade noções como a busca pela coerência global, a

investigação do pensamento divergente, a pluralidade de métodos científicos, a forte dinâmica de influências entre ciência, tecnologia e sociedade e a inexistência de dados puros.

Centrando no trabalho de Freedman (1979), sobre as motivações sociais e industriais de Soddy para seus estudos e descoberta da isotopia, os alunos foram convidados a debater quanto ao grau de influência da esfera tecnológica na atividade científica e os efeitos dessas exigências no conhecimento produzido.

5.4.3 Terceira aula

Com base no artigo “Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade”, fez-se uso dos conhecimentos históricos e as discussões de cunho epistemológico das duas aulas anteriores para a análise de um segmento de um livro largamente utilizado em disciplinas de Estrutura da Matéria e afins dos cursos de Física brasileiros.

Foram discutidos aspectos da Transposição Didática de Chevallard (1991), uma análise que permite a compreensão e identificação de certos processos transformadores operados sobre o conhecimento científico para que se torne ensinável. Dentre as transformações reconhecidas e listadas pelo didata francês, três em especial foram abordadas durante a aula: a descontextualização histórica, a despersonalização e a dessincronização. O livro didático é recorrentemente produto dessas transformações.

Após esta primeira exposição, utilizou-se o livro “Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos Núcleos e Partículas” (EISBERG; RESNICK, 1979) como objeto de análise, sendo dele tomados os conteúdos de radioatividade e outros conceitos e fenômenos que, de acordo com as duas primeiras aulas, estiveram fortemente ligados a ela em seu momento histórico de gênese e desenvolvimento. Consequentemente, os capítulos e seções sobre radiações X, modelos atômicos (de Thomson a Rutherford) e física nuclear (modelos e decaimentos), além da própria radioatividade e emissões alfa e beta, foram o alvo primário da aula.

A ideia central dessa etapa do módulo foi mostrar aos alunos onde há descontextualizações (históricas e conceituais) e despersonalizações no texto de Eisberg e Resnick (1979). Esclareceu-se, mediante os conhecimentos da história daquela ciência, que a ordem proposta pelo livro didático é de natureza distinta da ordem cronológica de descobertas e pesquisas daquele momento histórico. Observou-se a

forte despersonalização de certos conhecimentos científicos, apontando-se personagens às quais o livro faz rara menção (ou, simplesmente, não faz). A opção de Eisberg e Resnick (1979) por utilizar a história da ciência como introdução para certos capítulos também evidencia alguns exemplos de descontextualização histórica e pseudo-história, onde os fatores que historicamente motivaram as pesquisas, o corpo de conhecimento prévio e o contexto científico da época são omitidos, acentuando uma simplificação de certas descobertas.

Com base nessa análise, discutiu-se sobre algumas concepções acerca da ciência que a leitura pura e simples do livro pode potencialmente propagar, como as imagens atórica, analítica, individualista, socialmente neutra, ahistórica, acumulativa e algorítmica (GIL-PÉREZ et al, 2001). Foram debatidas as dificuldades de redação de um livro didático, a atribuição (equivocada) ao livro-texto como único meio do conhecimento e as possibilidades de se lidar com os efeitos colaterais de seu discurso, atribuindo ao professor, com conhecimentos relevantes, um papel importante nesse cenário.

5.5 AVALIAÇÃO

A avaliação das atividades deu-se nos marcos de uma pesquisa qualitativa, com o interesse dirigido nos processos e produtos centrados no sujeito, onde foram averiguados seus comportamentos e percepções (TRIVIÑOS, 1987). Para esse fim, foram utilizadas três técnicas de coleta de dados ou materiais: a observação livre, feita nas aulas dos módulos, o conjunto de questões e, por fim, e com o auxílio desses dois primeiros, as entrevistas semi-estruturadas.

a) Observações livres: materiais coletados

Como as três aulas do módulo foram ministradas pelo primeiro autor deste artigo (permanecendo o outro na função de expectador), sua posição nesta pesquisa pode ser caracterizada como a de pesquisador observador. As dificuldades inerentes a esse tipo de papel, como divisões internas do grupo, marginalização do pesquisador ou sua necessidade de envolvimento pessoal na vida do grupo (LOFLAND, apud TRIVIÑOS, 1987), foram, de certa forma, minimizadas. Os fatores que contribuíram para tal atenuante podem ser creditados a pequena população pesquisada e a posição da professora-pesquisadora, de aluna de mestrado, licenciada em física, de faixa etária similar à dos alunos-sujeitos da pesquisa.

A primeira aula foi explorada através de slides, exposição oral e proposta de discussões. Os alunos participaram de maneira satisfatória, expondo suas compreensões acerca da legitimidade de uma descoberta científica, questionando a dinâmica entre hipótese e teoria, oferecendo exemplos de suas próprias atividades enquanto estudantes de iniciação científica e compartilhando de leituras de biografias de outros cientistas.

A segunda aula teve exposição similar à primeira. Como proposta de discussão, pediu-se que os alunos se posicionassem sobre as influências das necessidades industriais e governamentais nas pesquisas de Frederick Soddy e Otto Hahn, e os efeitos dessas demandas na atividade científica. Novamente, os alunos tiveram boa participação, não apenas no debate, mas também demonstrando compreensão da complexidade da ciência. Dispuseram-se a definir características do trabalho científico pouco conhecidas, como a busca pela coerência global e a investigação do pensamento divergente, e demonstraram entendimento – assinalando com exemplos de leituras e experiências pessoais – do fato de que a ciência é interna e externamente um construto social. A preocupação das duas primeiras aulas não era a do ensino conceitual, mas da história daquela ciência. Como eles já haviam cursado disciplinas de Física Nuclear ou Estrutura da Matéria, não demonstraram qualquer dificuldade de associação dos conceitos com sua história.

Na terceira aula, houve uma participação ainda mais intensa dos alunos. Ficaram evidentes as suas surpresas ao lançar um olhar diferenciado sobre o livro didático que eles já conheciam e utilizaram na disciplina Estrutura da Matéria. Em função disso, e como parte de uma estratégia pré-concebida, foram sondadas as possibilidades de se sanear as lacunas que o livro didático invariavelmente pode gerar, se utilizado como única fonte do conhecimento em sala de aula, sobre as quais eles se posicionaram e questionaram intensamente entre si. Levantaram as dificuldades de se promover uma nova redação aos livros didáticos, a importância de leituras complementares e o papel do professor também como fonte de conhecimento.

As observações feitas em grande grupo propiciaram uma perspectiva geral do envolvimento dos alunos com a unidade de ensino. No entanto, observações de cunho idiossincrático também foram feitas, e serão mais amplamente exploradas na seção de análise dos dados e materiais coletados.

b) Conjunto de questões

Para efeitos de uma avaliação dos conhecimentos assimilados pelos alunos nas aulas do módulo, propôs-se a eles uma atividade similar à realizada na terceira aula do módulo: o reconhecimento de processos sofridos pelo fenômeno da radioatividade (e correlatos historicamente) em um livro didático – “Física, Ciência e Tecnologia”, de Ferraro et al (2010). Quatro perguntas orientaram as incursões dos alunos por esse texto:

- 1) Que sinais de dessincretização de conceitos há na estrutura do texto?
- 2) Que traços de (des)contextualização histórica há no material?
- 3) Que indícios de (des)personalização há na abordagem dos conteúdos?
- 4) Que imagens (deformadas ou não) do trabalho científico o discurso do livro propaga? Corrobore com trechos.

O livro em questão é um dos textos aprovados pela Portaria nº 336, de 31 de janeiro de 2006, do Plano Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio, fator que aponta para sua qualidade na abordagem dos conteúdos. Além disso, essa obra contém uma grande unidade de física moderna, em capítulos que tratam da mecânica quântica, da relatividade e da física nuclear e de partículas, o que permite sua análise em termos da história da radioatividade, objeto do módulo de ensino.

Aos alunos foi entregue uma carta de apresentação da atividade, juntamente com cópias da capa, da ficha catalográfica e dos capítulos e seções relacionados historicamente com as pesquisas em radioatividade. Assim, os participantes receberam as seções de raios X e raios gama, contidas no capítulo intitulado “*Onda eletromagnéticas*” (FERRARO et al, 2010, p. 519) e as seções de introdução, de núcleo atômico, radioatividade e lei radioativa, contidas no capítulo denominado “*Física Nuclear*” (FERRARO et al, 2010, p. 630). Além desse material, foi também entregue uma cópia da figura 4, que representa os sumários dos capítulos designados pelos autores para parte do terceiro ano do ensino médio¹².

15 – Ondas eletromagnéticas	18 – Física Quântica
------------------------------------	-----------------------------

¹² Os autores sugerem que, além dos conteúdos listados na figura 4, os capítulos 13 (Eletricidade e recursos energéticos), 14 (Eletromagnetismo) e 16 (Energia hoje e amanhã – poluição) sejam componentes do 3º ano do Ensino Médio.

<ol style="list-style-type: none"> 1. As equações de Maxwell Lei de Gauss para a eletricidade Lei de Gauss para o eletromagnetismo Lei de Ampère generalizada Lei de Faraday 2. Características das ondas eletromagnéticas 3. A geração de ondas eletromagnéticas 4. O espectro eletromagnético Ondas de rádio Micro-ondas Infravermelho Luz visível Ultravioleta Raios X Raios gama 5. Interferência luminosa <p>17 – Relatividade especial</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Transformações galileanas 2. A relatividade de Newton O princípio de Galileu e o eletromagnetismo 3. Breve descrição da experiência de Michelson e Morley 4. A relatividade de Einstein 5. Consequências da relatividade de Einstein A relatividade de simultaneidade Dilatação do tempo Contração do espaço Efeito Doppler relativístico 6. Adição de velocidades 7. Energia relativística 8. Noções de relatividade geral 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução 2. A radiação dos corpos e a teoria quântica de Planck 3. Efeito fotoelétrico 4. O modelo atômico de Bohr 5. O átomo de hidrogênio 6. A dualidade onda-partícula 7. O princípio da incerteza <p>19 – Física Nuclear</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Introdução 2. O núcleo atômico Massas nucleares Dimensões nucleares 3. Radioatividade Decaimento alfa Decaimento beta 4. A lei radioativa 5. Fissão e Fusão nuclear Fissão nuclear Fusão nuclear 6. Lixo nuclear 7. Acidentes nucleares 8. Um pouco da evolução nuclear 9. As forças fundamentais da Natureza 10. Partículas fundamentais da matéria-antimatéria Modelo de quarks 11. Um pouco de Cosmologia
--	---

Figura 4: Sumário dos capítulos designados pelos autores para o 3º ano do ensino médio.

Foi estipulado um prazo de três semanas para a resposta dessas questões, cuja nota teve peso na média geral da disciplina.

c) Entrevistas semi-estruturadas

Dando prosseguimento à pesquisa, e de modo a se ter um *conhecimento* mais claro sobre a compreensão e o alcance dos estudantes em relação aos objetivos do módulo, os alunos foram entrevistados. As entrevistas semi-estruturadas ativeram-se às idiossincrasias dos estudantes, reconhecidas e identificadas a partir das observações realizadas em aula e de uma primeira análise das respostas ao exercício proposto. A todos os alunos, no entanto, foram feitas duas perguntas básicas, de natureza distinta:

Pergunta	Natureza e objetivo
Em geral, você observou as diversas transformações passadas pelos conhecimentos relativos à radioatividade para que fossem objetos do livro escolar. Em que grau você acredita ter sido esse exercício um facilitador para o reconhecimento de processos de didatização?	De natureza avaliativa, teve por objetivo sondar a apropriação mais ampla do exercício proposto no módulo para sua possível extensão a outras áreas da física, e situações de ensino, com base nos conteúdos históricos abordados na disciplina Evolução dos Conceitos da Física.
Reconhecendo as lacunas que existem no livro didático, que sugestões você faria para amenizá-las em sala de aula?	Partindo do princípio de que, como estudantes de Física, todos eles têm grande probabilidade de atuarem como docentes (de nível médio ou superior), esta pergunta, de natureza hipotética, visou a explicitar seus posicionamentos frente ao livro didático e seu papel como professor para a construção de um corpo de conhecimento coeso em sala de aula.

Figura 5: Perguntas básicas, dirigidas a todos os alunos nas entrevistas semi-estruturadas.

Além dessas duas perguntas de caráter mais geral, alguns alunos responderam a algumas questões singulares, construídas com base nas

observações feitas em sala de aula e nas respostas dadas no conjunto de questões, que são descritas na figura 6.

Aluno	Perguntas
A	1) Você observou um trecho do livro que propaga uma imagem acumulativa do conhecimento científico. Há alguma outra imagem da ciência mais vastamente presente no discurso do livro? 2) Qual é a sua compreensão da diferença entre descontextualização histórica e dessincretização?
B	1) Você afirma, sobre o trecho “Essas e outras descobertas levaram os cientistas a desenvolver a teoria de que todos os átomos são constituídos pelos mesmo tipos de partículas subatômicas”, que ele corrobora a ideia de que a ciência não é simplesmente ateórica. Discorra sobre seu ponto de vista.
C	1) Você observou um trecho do livro que propaga uma imagem acumulativa do conhecimento científico. Há alguma outra imagem da ciência mais vastamente presente no discurso do livro? 2) Qual é a sua compreensão da diferença entre descontextualização histórica e dessincretização?
D	1) Você descreve e critica claramente a ordem escolhida pelos autores do livro. Que imagens do trabalho científico você acredita serem propagadas pelo discurso do livro?
E	1) Qual a sua compreensão da diferença entre descontextualização histórica e dessincretização?
F	1) Qual a sua compreensão da diferença entre descontextualização histórica e dessincretização?
G	Ao aluno G foram feitas apenas as perguntas gerais.
H	Ao aluno H foram feitas apenas as perguntas gerais.
I	1) Qual a sua compreensão da diferença entre descontextualização histórica e dessincretização?
J	O aluno J, apesar de ter participado durante as aulas do módulo, não respondeu o conjunto de questões e, portanto, não foi questionado durante a entrevista.

Figura 6: perguntas singulares

5.6 INTERPRETAÇÕES DOS DADOS E MATERIAIS

5.6.1 Que sinais de dessincretização de conceitos há na estrutura do texto?

Como se pode notar na figura 1, o livro (FERRARO et al, 2010) trata os raios X e os raios gama como seções de um capítulo em comum, destinado a abordar ondas eletromagnéticas. Embora essa opção faça sentido para uma abordagem estritamente conceitual, ela é fruto de uma ressincritização. Historicamente, sabe-se que a descoberta das emissões de urânio foram consequência da identificação dos raios X, feita poucos meses antes, e da dificuldade de se conhecer sua verdadeira natureza. Além disso, as radiações gama foram observadas primeiramente em 1900, quando os estudos sobre a radioatividade já se consolidavam entre os cientistas, e depois da descoberta das radiações alfa e beta, por Rutherford. Assim, o contexto conceitual de origem dos raios X e gama está intrinsecamente ligado às pesquisas iniciais em radioatividade, mas que, em Ferraro et al (2010), estão separados por três capítulos. Cinco estudantes (D, E, F, H e I) observaram essa distância entre os tópicos.

Além disso, não há indícios sobre a importância da descoberta dos raios X para o desenvolvimento da radioatividade, e isto fica bem caracterizado se observarmos a distância entre os capítulos que tratam sobre estes temas (ALUNO H, conjunto de questões).

Os autores tratam de raios X e raios gama no mesmo capítulo em que abordam ondas eletromagnéticas e equações de Maxwell, e apenas dois [sic] capítulos depois abordam princípios de física nuclear (ALUNO D, conjunto de questões).

Interessantemente, o texto base da terceira aula do módulo enfatiza exatamente a distância existente entre as seções de raios X e radioatividade em Eisberg e Resnick (1979) como um sinal claro de dessincretização. Entretanto, dentre os alunos que não observaram esse problema no texto, encontram-se alguns que notaram a ressincritização explícita no tratamento das radiações X. Seis alunos observaram esse efeito: A, B, C, E, G e H.

Ferraro et al (2010) começam a seção de raios X explicando sua natureza e como são obtidos. Então, fazem uma menção histórica sobre

seu descobrimento por Wilhelm Röntgen, o aparato experimental que construiu e como o manipulou. Então, discorrem sobre a primeira radiografia da história, especificando o tempo de exposição e apresentando uma reprodução dela, feita pelo cientista, da mão de sua esposa, e o fato de que ganhou por essa importante descoberta o primeiro Prêmio Nobel na área da física. Por fim, os autores dissertam sobre a utilização dos raios X para fins medicinais, mencionando o desenvolvimento do tomógrafo (cujos inventores receberam também um Prêmio Nobel, na área de medicina e fisiologia).

A alternativa dos autores de introduzir a seção esclarecendo a natureza dessas radiações, mencionando serem ondas eletromagnéticas – posicionando-as inclusive no espectro eletromagnético – produzidas “*pela oscilação de elétrons das camadas mais internas dos átomos ou quando partículas eletrizadas altamente energizadas – elétrons em alta velocidade – colidem com outras cargas elétricas ou com átomos de um alvo metálico*” (p. 538), foi uma das características de ressincretização mais descritas pelos alunos. Os estudantes A, B, E e G apontaram para a utilização do modelo de Bohr, de 1913, para a explicação da radiação X, descoberta em 1895. Em especial, os alunos B e G citam, além disso, a menção ao elétron, identificado por Thomson em 1897. Os estudantes C e H indicam ainda a identificação das radiações X como ondas eletromagnéticas como um efeito de ressincretização, para isso discorrendo sobre sua natureza desconhecida no momento da descoberta – que justifica a nomenclatura escolhida por Röntgen, ao batizá-las de *raios X*.

Não há incoerência de Ferraro et al (2010) na escolha da abordagem ressincretizada, dado que o objetivo do livro é o ensino de conceitos, da maneira como são atualmente conhecidos. Entretanto, os autores também fazem a opção de contar a história dessa descoberta, logo após sua explicação conceitual. Assim, seria necessário mencionar o contexto científico da época, valorizando o efeito dessa descoberta para a física clássica. E, de maneira ainda mais importante, seria possível ressaltar a relevância da descoberta dos raios X para a descoberta da radioatividade, transparecendo a fertilidade dos fenômenos físicos, um dos valores significativos na filosofia da ciência. O estudante C (e também o H) aponta para essa omissão.

Como o próprio nome indica, a natureza dos raios X era desconhecida, e é justamente a busca pelo seu entendimento que acaba por abrir novos campos de pesquisa, que culminariam só mais tarde

estabelecendo o que são esses raios e como se originam. Os diversos empreendimentos científicos que se seguiram após a descoberta dos raios X culminariam também por contribuir para formar nosso entendimento atual sobre os átomos e seus constituintes (ALUNO C, conjunto de questões).

Na disposição do livro analisado, a seção sobre raios gama segue a seção sobre raios X. A escolha, novamente, é “natural” e está em ressonância com o objetivo do texto, considerando-se que ambas as radiações têm natureza eletromagnética.

Os autores optam por iniciar a seção com uma recapitulação histórica, que faz menção à radioatividade implicitamente, atribuindo natureza eletromagnética aos raios gama. Exemplificam sua obtenção através de uma reação nuclear e, por fim, descrevem sua utilização na medicina.

Seis alunos (A, B, E, F, G e H) observaram o sinal do processo de ressincretização na explicação da emissão da radiação gama, auxiliada pelo modelo atômico nuclear. Desses seis, cinco (A, E, F e G) apontaram para o exemplo (FERRARO et al, 2010, p. 542) escolhido pelos autores de uma emissão gama, no processo de fissão nuclear. Todos os cinco lembraram que esse é um fenômeno que, no livro, somente é tratado no fim do capítulo 19 – distante em aproximadamente cem páginas. Os alunos A, E e F ainda mencionam a presença do nêutron no exemplo, partícula descoberta somente em 1932 e que, portanto, não fazia parte do contexto conceitual de origem da descoberta das radiações gama.

Nesta mesma seção não se fala da origem nuclear dos raios gama, logo em seguida se fala de fissão, fusão e decaimento radioativo, sem nenhuma explicação desses fenômenos (ALUNO F, conjunto de questões).

Um único aluno, o estudante A, observou também a ressincretização na abordagem das utilizações medicinais dos raios gama, quando o texto faz referência ao mapeamento de radioisótopos, descrevendo-o como “*uma técnica de diagnóstico que detecta a radiação emitida por substâncias radioativas – os chamados radioisótopos –, como iodo ou bário, introduzidas no corpo*” (FERRARO et al, 2010, p. 542).

Nos dois casos acima citados – da exemplificação da emissão alfa como produto de uma reação de fissão nuclear e da utilização do termo radioisótopo – três alunos (A, E e F) notaram um problema latente na ressincretização optada pelos autores, que se utilizam de termos e conceitos ainda não explorados no próprio corpo do livro, sem prover uma explicação ao menos superficial para eles.

No capítulo 19, Ferraro et al (2010) preferiram apresentar primeiramente um modelo atômico nuclear (de Rutherford-Bohr) para, então, introduzir a radioatividade, os decaimentos alfa e beta e a lei radioativa. Tomando-se a história da ciência como referência, a ordem dos conceitos seria completamente diferente: a radioatividade foi descoberta em 1896, a taxa de decaimento foi enunciada em 1900, por Rutherford. As radiações alfa e beta foram classificadas em 1899; no entanto, a compreensão dos decaimentos alfa e beta decorrem de longas pesquisas sobre a teoria da desintegração dos elementos e da compreensão de identidades químicas de produtos radioativos. Assim, pode-se inferir que o discurso dessas seções do livro são frutos do processo de ressincretização. Sete alunos atentaram para essa transformação – A, C, D, E, F, G e H.

O índice dos capítulos apresentando a estrutura do livro mostra que os autores escolheram apresentar primeiramente o núcleo atômico para depois dedicar o capítulo seguinte à radioatividade. Historicamente, foram as pesquisas com as emissões radioativas com pioneiros como Becquerel e o casal Curie que abriram os caminhos que levaram à descoberta do núcleo atômico (ALUNO C, conjunto de questões).

Como o aluno C explicita, não é apenas uma relação cronológica que muda, mas também toda a estrutura de construção da noção de núcleo atômico, que é produto direto das pesquisas em emissões radioativas. Também na seção sobre raios gama, esse mesmo traço pode ser percebido no discurso do livro, e foi apontado pelos alunos G e D.

Logo no início do texto sobre raios gama, os autores falam sobre como as partículas alfa são, na verdade, núcleos de hélio, induzindo o aluno a pensar que já se conhecia o modelo nuclear nesta época, quando, na verdade, as partículas alfa tiveram um

importantíssimo papel no desenvolvimento do modelo nuclear do átomo (ALUNO D, conjunto de questões).

Para explicar as emissões radioativas à maneira como são compreendidas atualmente, são necessários conceitos e termos que, na origem e no desenvolvimento da radioatividade, ainda não haviam sido concebidos. Além do já citado nêutron, os alunos observaram a utilização de conceitos como fóton (estudantes B, G, H e I), número atômico (B e H), pósitron (G, H e F), neutrino (H e D) e anti-neutrino (H e D).

Nesta seção [sobre núcleo atômico] os autores utilizam o termo fóton para explicar a radiação gama, no entanto o termo fóton foi utilizado somente em 1926 em um trabalho de Gilberto Lewis. Assim, o tratamento das radiações gama como fótons remete a uma ressincretização do tema (ALUNO H, conjunto de questões).

Este trecho [FERRARO et al, p. 633] me parece apresentar uma ressincretização da ideia de classificar os elementos a partir do número atômico Z (Moseley), como apresentado em aula esta classificação foi muito importante, unindo assim os diversos isótopos que eram vistos como elementos (ALUNO B, conjunto de questões).

No início do capítulo 19 se fala em “elétrons positivos” sem nenhuma referência à seção 10 que fala sobre antipartículas. Novamente é falado na seção de radioatividade agora com referência ao final do capítulo (ALUNO F, conjunto de questões).

Ainda nesta seção [sobre lei de decaimento], identificamos mais um anacronismo, quando o neutrino e o antineutrino são citados justo ao trabalho de casal Curie (ALUNO D, conjunto de questões).

Outros exemplos de dessincretização e ressincretização foram mencionados pelos alunos, com menor frequência. Os estudantes B e I indicam que, na abordagem histórica do descobrimento dos raios X,

Ferraro et al (2010, p. 538) discorrem sobre o aparato experimental utilizado por Röntgen, o tubo de Crookes, utilizando o termo elétrons (descobertos dois anos após os raios X). Os autores do livro, no entanto, fazem uma ressalva coerente: “*Consta basicamente de um tubo de vidro dentro do qual um condutor metálico aquecido emite elétrons, então chamados raios catódicos, contra outro condutor*” (grifo nosso).

Mais especificamente sobre a radioatividade, o aluno H observou que os decaimentos alfa e beta são tratados no livro a partir da perspectiva atual. Além dele, o aluno C aponta para o sumário do livro, que traz a apresentação do modelo atômico de Bohr no capítulo 18, como parte dos estudos do efeito fotoelétrico. Esses dois sinais de ressincretização mostram claramente a intencionalidade do livro, de promover uma ordem lógica e acumulativa para a aprendizagem dos conceitos. No entanto, os dois estudantes fazem ressalvas sobre questões intrínsecas da história da ciência.

Observando o índice, a apresentação do modelo atômico de Bohr, logo após a apresentação do efeito fotoelétrico, um capítulo antes das seções sobre a radioatividade, mascara a influência que as pesquisas sobre emissões de radiação tiveram no caminho que levou ao desenvolvimento do modelo de Bohr (ALUNO C, conjunto de questões).

Os decaimentos alfa e beta são explicados como aceitos atualmente. Os motivos dos decaimentos permaneceram como incógnitas durante o período inicial de desenvolvimento dos estudos em radioatividade (ALUNO H, conjunto de questões).

O aluno C foi o único que demonstrou ter utilizado também o sumário dos capítulos cujas cópias não foram fornecidas, apontando o exemplo direto do modelo de Bohr. Contudo, há um outro exemplo de ressincretização que poderia ter sido observado com a simples análise do sumário fornecido, e que passaram despercebidas entre todos os dez estudantes: a utilização da equivalência massa-energia (proposta no capítulo anterior, que aborda a teoria da relatividade) para o balanceamento dos decaimentos nucleares¹³.

¹³ Apesar de a famosa equação ter sido proposta por Einstein em 1905 (em publicação de 1906), esse conceito de equivalência não pertencia à esfera conceitual onde se desenvolviam as pesquisas sobre radioatividade. Muito dessa

Outra ressincretização clara no texto, mas que apesar disso não foi mencionada pelos alunos, é a posição da abordagem de taxa de decaimento radioativo, no fim das seções destinadas à radioatividade. A ordem cronológica organizaria o capítulo 19 – em relação às pesquisas de radioatividade – da seguinte maneira: a descoberta da radioatividade, classificação das radiações, enunciação da taxa de decaimento radioativo, teoria da desintegração dos elementos, modelo atômico nuclear e isótopos.

Certamente, para os objetivos de ensino conceitual, essa ordem não auxiliaria na organização lógica do conteúdo. Fica caracterizado que as partes dos capítulos 15 e 19 analisados aqui são produtos de dessincretizações seguidas de uma grande ressincretização. Pode-se concluir, a partir dos exemplos, trechos e justificativas dos estudantes participantes dessa pesquisa que eles conseguiram compreender bem as diferenças entre as organizações histórica e didática.

5.6.2 Que traços de (des)contextualização histórica há no material?

As ressincretizações mais notadas pelos alunos (da distância entre a seção de radiação gama e o capítulo de física nuclear, e a apresentação do modelo atômico nuclear antes da radioatividade) foram defendidas pelos alunos A, E e G como uma descontextualização histórica.

No índice já se constata uma descontextualização histórica, pois como ele separa raios gama, discutidos no capítulo 15, de radioatividade, discutidos [sic] no capítulo 19, dão [sic] a impressão que foram feitos em momentos distintos ou nesta ordem, mas foi justamente o contrário, pois os raios gama são um produto da radioatividade [...] No capítulo de física nuclear ele cita na introdução Becquerel como precursor da radioatividade e na seção de radioatividade, coloca o casal Curie como os corroboradores dessa teoria, o que está contextualizado historicamente. Mas, entre a introdução e a seção de radioatividade, se encontra

área, tanto na física quanto na química, foi desenvolvida sem a compreensão clara da fonte das altas energias emitidas nos processos de desintegração atômica.

o modelo atômico [de Rutherford], onde ele só é apresentado dessa maneira alguns anos depois das pesquisas em radioatividade [...] (ALUNO E, conjunto de questões).

Os mesmos três alunos, e também o estudante H, apontam ainda para o que o aluno G denominou de “*miscelânea histórica*” feita pelos autores na seção sobre raios gama. Ferraro et al (2010, p. 541), mesmo optando pela ressincretização do tema, posicionando-o no capítulo de radiações eletromagnéticas, tentam contextualizar historicamente o tema. Dessa maneira, tiveram que citar as pesquisas iniciais em radioatividade e também as radiações alfa e beta, para isso utilizando concepções que, na época, não eram conhecidas, como a de um modelo atômico nuclear, e mencionando que era claro que essas partículas eram emitidas de dentro do átomo. Esses estudantes notaram que, ao trazer, em um relato histórico, conceitos que não pertenciam àquele momento, os autores, de certa forma, descontextualizaram historicamente o tema.

Aqui podemos constatar várias descontextualizações, não se tinha, no final do século XIX, um conhecimento tão profundo do átomo para se afirmar que tais radiações partissem de dentro do átomo. Bem como o núcleo foi concebido por Rutherford e colaboradores em 1911, sendo que o texto dá uma ênfase para os acontecimentos do final de século XIX (ALUNO G, conjunto de questões).

Na seção de raios gama o autor coloca que para a época de Rutherford ele coloca [sic] como sendo lógico que os raios alfa e beta eram constituídos por partes do átomo o que não é correto afirmar, pois a ideia de que o átomo era divisível e mutável foi de difícil aceitação para a época [...] (ALUNO E, conjunto de questões).

Quanto às inferências recorrentes nos trechos históricos do livro, da associação das pesquisas em radioatividade com modelos nucleares consolidados, o aluno G ainda indica outros trechos do livro. Ele lembra inclusive da falta da ordem cronológica em um deles, que menciona uma suposta logicidade em se assumir, naquela época, que as radiações beta e, especialmente, alfa, eram constituídas de partículas subatômicas, e afirmando que “*mais tarde* [após a identificação das

naturezas corpusculares das radiações alfa e beta] *provou-se que os raios gama eram ondas eletromagnéticas, do mesmo tipo que os raios X*” (FERRARO et al, 2010, p. 541). O aluno lembra que, dentre as radiações emitidas pelos compostos radioativos, a natureza da radiação alfa foi a de mais difícil identificação, feita por Rutherford e Royds apenas em 1908.

Essa questão da dificuldade de identificação da natureza e da constituição da partícula alfa também esteve presente em um exemplo de descontextualização histórica, fornecida pelo aluno B. Ao se referir a um trecho da página 541, em que os autores mencionam que, pelas deflexões sofridas pelos raios alfa e beta, os cientistas puderam mostrar que eles eram corpusculares e eletrizados, esse estudante aponta que

Nesse trecho podemos perceber uma descontextualização do conceito de raios alfa. Primeiramente pelo fato do [sic] texto colocar que a natureza elétrica dos raios alfa como sendo descoberta concomitantemente à natureza elétrica dos raios beta, sabemos que por diversas dificuldades experimentais demorou mais para entender melhor os raios alfa. E como mencionado em sala, muito depois de sua descoberta que foi descoberto que os raios [alfa] eram na verdade núcleos de hélio, sem contar o tempo despendido em possibilidades possíveis [sic] além de concluir que era de fato o núcleo de hélio (ALUNO B, conjunto de questões).

O estudante D traz um exemplo retirado da seção sobre o núcleo atômico, em que os autores fazem uma recapitulação histórica superficial do experimento de espalhamento de partículas alfa, que resultou na proposta de um modelo atômico nuclear. Segundo o aluno, o discurso do livro propaga a ideia de que o experimento mostrava que o “*núcleo dos átomos pode ser considerado como uma carga positiva pontual*” (FERRARO et al, 2010, p. 632), quando, na realidade, o experimento mostrava, em primeiro lugar, a existência de um núcleo atômico, uma ideia bastante controversa na época.

A sistemática explicação de fenômenos como a radioatividade e conceitos como a isotopia ou a meia-vida com o auxílio do modelo atômico nuclear composto de prótons e nêutrons – uma ressincretização – é muito importante no ensino conceitual, como é o caso do livro e de seu objetivo. Entretanto, ao recorrer a menções históricas sobre tais

conceitos e fenômenos, a mais simples menção da existência de um núcleo – quicá de partículas como o próton e o nêutron – traz consigo problemas na compreensão de suas evoluções. É neste sentido que o aluno C aponta para a seção dedicada à meia-vida, que utiliza a história (incorreta) da enunciação do conceito associada a um modelo atômico nuclear.

A atribuição incorreta da enunciação do conceito de meia-vida ao casal Curie (FERRARO et al, 2010, p. 637) – que, na realidade, foi feita por Rutherford, em 1900 – foi observada pelo aluno G. Em geral, ainda, muitas dos relatos históricos presentes no livro falham em mencionar o casal, e isso foi apontado pelos alunos D e H. Este último, diferentemente dos seus colegas, citou diversos trechos em que os autores não escolheram utilizar a história da ciência, como na descrição dos decaimentos alfa e beta, considerando esse fato um sinal de descontextualização histórica.

Dentre os sinais de descontextualização que os alunos falharam em mencionar, pode-se citar a não relação, nos relatos históricos providos pelo livro, da importância das pesquisas em radiações X para a descoberta da radioatividade. Como os autores recorrentemente optaram por utilizar passagens históricas, essa relação muito importante poderia ter sido mencionada em dois casos: na seção de radiações gama, onde essa poderia ser a conexão entre ela e a seção anterior, sobre os raios X, e no início do capítulo 19, quando os autores descrevem as pesquisas de Becquerel, onde se poderia mencionar que aquilo que o físico francês procurava eram radiações análogas aos raios X. Essa segunda menção ajudaria a alterar um outro problema histórico presente no discurso do livro, quando os autores afirmam que Becquerel notou a distinção dos raios que descobriu.

As sistemáticas tentativas dos autores de promover algumas contextualizações históricas mostram uma intenção provável de adequação a certas orientações dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, que, dentre outras coisas, sugere que o conhecimento da história da ciência também seja objeto das aulas de ciências. Por isso, e apesar de alguns equívocos historiográficos, não se pode dizer que a obra é descontextualizada historicamente, ou negar o valor de seus ensaios. Entre os alunos, o único a registrar explicitamente as inserções de história da ciência como uma tentativa de contextualização histórica foi o aluno I, que apontou especificamente para a introdução do capítulo 19, onde se faz referência aos trabalhos de Becquerel como não apenas os primeiros da radioatividade, como também de toda a física nuclear.

Basicamente, os alunos mostraram inclinação em tomar episódios históricos narrados pelo livro e apontar para os anacronismos neles presentes, como descontextualizações históricas. Todavia, a opção do aluno H, em salientar os momentos onde nenhuma história é escrita também é um resultado de sua compreensão desse tipo de descontextualização. O espectro variado de exemplos citados pelos alunos é um resultado diferente daquele obtido na análise das ilustrações das ressincetizações por eles fornecidas, onde muitos alunos notaram os mesmo traços. Esse resultado mostra, no caso das descontextualizações históricas, dois efeitos na aprendizagem dos alunos: a fixação em certos momentos históricos específicos, frutos das duas primeiras aulas do módulo, e a dificuldade de diferenciação entre dessincetização e descontextualização histórica, que foram objetos da terceira aula.

5.6.3 Sobre a diferenciação entre dessincetização e descontextualização histórica

A menor variedade de exemplos fornecidos pelos alunos de descontextualização histórica pode ser também abordada a partir de um outro dado: o número de alunos que não conseguiu distinguir descontextualização histórica de dessincetização. Os estudantes A, E e I demonstraram essa dificuldade, ao propor exemplos de dessincetização na questão que pedia por ilustrações de descontextualização histórica.

Com a intenção de sondar mais profundamente essa dificuldade, esses alunos foram questionados sobre suas concepções acerca de cada um desses dois processos, na entrevista.

[Dessincetização] seria meio que um erro conceitual, [...] explicar algo [do jeito] errado. Não errado, mas meio que deformado do conceito e não histórico. [...] [Descontextualização histórica] É meio que sair da ordem também. Dar uma introdução histórica, daí já citar algo que foi descoberto depois, ou usar termos futuros à época de que se está falando (ALUNO A, entrevista).

O aluno A demonstra saber conceituar descontextualização histórica; entretanto, demonstrou uma dificuldade latente em recobrar o termo dessincetização. O mesmo aconteceu para o aluno B, que, quando questionado sobre sua concepção de dessincetização (ou descontextualização conceitual), preferiu não responder à pergunta.

Interessantemente, quando perguntado sobre sua concepção de descontextualização histórica, respondeu

É quando se troca a ordem das coisas, ou quando se coloca uma ideia fora de seu tempo, como colocar a ideia de átomo [na abordagem da radioatividade], na época não se tinha esse conceito. As pessoas não se tocam disso (ALUNO E, entrevista).

A resposta provida pelo estudante E descreve, na realidade, dessincretização e ressincretização. Respostas semelhantes foram dadas pelo aluno I, que, questionado primeiramente quanto à descontextualização histórica, descreveu o processo de dessincretização.

Seria pegar os fatos da física e, para que ele fique de maneira mais didática, trocar essa ordem (ALUNO I, entrevista).

Quando questionado sobre a dessincretização, imediatamente percebeu que fizera confusão entre dois processos. Assim, perguntou-se qual era, na sua concepção, a diferença entre os dois processos, resposta que ele preferiu não dar.

É importante ressaltar que, apesar da dificuldade de distinção dos termos, os conjuntos de questões dos alunos mencionados apresentaram exemplos dos dois processos. A inclinação dos estudantes E e I em notar e descrever a dessincretização – embora classificando-a de descontextualização histórica – remete a duas possíveis justificativas: a) de que o termo desconhecido seja de difícil compreensão, apesar de conseguirem claramente identificar seu efeito no livro didático, e b) de que a simples organização dos conceitos e fenômenos no livro remeta imediatamente a uma descontextualização histórica, quando os alunos passam a enxergar no livro uma incoerência com a cronologia dos eventos científicos.

Em seu conjunto de questões, o aluno F foi o único a não apresentar exemplos de descontextualização histórica, mesmo respondendo as perguntas separadamente. Ou seja, na resposta à pergunta referente a exemplos de descontextualização histórica, forneceu duas ilustrações que, na realidade, remetiam à ressincretização sofrida pelos conteúdos no livro didático. Quando perguntado sobre sua compreensão de descontextualização histórica, respondeu

Talvez duas coisas: quando não tinha a informação do fato ocorrido ou se ele estava errado [...] até pela ordem do texto. Você lia o texto e não dava a sensação que você estava lendo uma coisa que, até pela ordem do texto, nos capítulos anteriores, apresentava coisas que foram descobertas há pouco tempo e, nos capítulos seguintes, falava sobre coisas mais antigas, por exemplo, falar de partículas primeiro, e depois falar de fótons, que é uma coisa mais antiga e tudo mais (ALUNO F, entrevista).

Nota-se que sua primeira ideia, quanto à disposição ou não de fatos históricos, e sobre estarem corretamente narrados, parece mostrar que ele compreende o que é descontextualização histórica. Mas, ao continuar, ele começa a descrever o processo de dessincretização. E, quando questionado sobre dessincretização, ele definiu serem erros no texto, e escolheu não continuar explicando.

Enfatiza-se aqui as diferenças entre os exemplos e as definições pelo estudante F. Em suas respostas sobre dessincretização no conjunto de questões, ele cita três bons exemplos de conceitos tornados autônomos e reorganizados – definição de dessincretização, por Chevallard (1991) –, e nenhum de erros do livro, como defendeu na entrevista. Em suas respostas sobre descontextualização histórica, ele novamente cita casos de dessincretização.

Um caso bastante específico é o do aluno C, que confundiu por completo os dois processos transformadores. No conjunto de questões, propôs exemplos de descontextualização histórica quando exemplos de dessincretização foram pedidos, e vice-versa. Na entrevista, fez o mesmo, definindo dessincretização quando perguntado sobre sua concepção de descontextualização (e o contrário).

Os alunos B, D, G e H conseguiram diferenciar de maneira excelente os dois processos, fornecendo uma variedade de ótimos exemplos.

Ao contrário de *descontextualização histórica*, termo com que os alunos certamente já se depararam ao menos uma vez em suas vidas, a nomenclatura *dessincretização* foi, no vocabulário dos estudantes do bacharelado, inserida pela primeira vez nesse módulo de ensino. Já os que se habilitam em licenciatura tiveram contato com os termos de Chevallard (1991) na disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física A, onde a transposição didática é objeto de estudos.

É notável a inclinação generalizada dos alunos ao reconhecimento dos processos de dessincretização – apesar de não os

associarem ao termo. Todos eles citaram ao menos alguma dissonância entre a ordem dos conteúdos do livro e a ordem histórica dos acontecimentos da física. Pode-se considerar esse fato um forte indicador da assimilação da evolução dos conceitos científicos objetos do módulo, dado que os alunos conseguem constatar facilmente esse processo, apesar de terem estudado tais conceitos de maneira marcadamente conteudista nos semestres anteriores de suas formações acadêmicas.

5.6.4 Que indícios de (des)personalização há na abordagem dos conteúdos?

Como nas respostas acerca das dessincretizações, alguns trechos de Ferraro et al chamaram atenção da maioria dos estudantes. Sete deles – alunos A, D, E, F, G, H e I – fizeram observações específicas quanto à pouca menção aos trabalhos do casal Curie sobre a radioatividade. É na seção sobre raios gama, no capítulo 15, que os estudantes apontam para tal ausência.

A opção dos autores de ressincretizar o tema, locando-o no capítulo 15, direcionado aos estudos das ondas eletromagnéticas, teve, como produto, a omissão dessas duas importantes figuras nas pesquisas em radioatividade, fato que não passou despercebido a esses sete alunos. No livro, a história da radioatividade, abordada de forma bastante superficial, liga-se apenas ao nome de Rutherford.

Na seção de raios gama, não é comentado sobre o nome do casal Curie, sendo que eles tiveram uma participação importante comparada à de Ernest Rutherford onde [sic] seu nome é citado com ênfase no texto (ALUNO E, conjunto de questões).

Nessa mesma seção (FERRARO et al, 2010, p. 541), os alunos G e H observam ainda a preferência dos autores por iniciar o relato histórico sobre as primeiras observações das emissões de urânio com o termo “cientistas”.

Neste trecho os autores negligenciam os nomes dos principais criadores e difusores da radioatividade, que foram Becquerel e o casal Curie (ALUNO G, conjunto de questões).

Na seção de raios gama no capítulo 15, há indícios de despersonalização ao se omitir os nomes dos cientistas que passaram a perceber a atividade em certos materiais (ALUNO H, conjunto de questões).

Talvez a questão não suscitasse tal reação dos alunos se o descobrimento da radioatividade e suas pesquisas iniciais houvesse sido um evento que tivesse chamado a atenção de toda a comunidade científica. Contudo, durante as aulas frisou-se repetidamente sobre o fato de que, no início, essas pesquisas não eram do interesse da maior parte da comunidade científica, que estava mais interessada nos raios X. Por dois anos, os únicos interessados no assunto pareciam ser os Curie, na França, e Gerhard Schmidt, na Alemanha – que observou que o tório também emitia as mesmas radiações que o urânio, simultânea e independentemente do casal. Mesmo Becquerel parecia ter perdido o interesse no assunto, a julgar por seus comunicados à Academia Francesa de Ciências em 1896 (MARTINS, 1990; CORDEIRO; PEDUZZI, 2010b). Assim, não é difícil interpretar a inclinação da grande maioria dos alunos a notar a pouca menção ao casal de físicos.

Ainda nessa seção, dois alunos (C e G) enfatizam a passagem

O físico neozelandês Ernest Rutherford (1871 – 1937), realizando experimentos com urânio radioativo, identificou em 1899 dois tipos de radiação: o primeiro foi nomeado raios alfa (α); o segundo, raios beta (β). Um ano mais tarde descobriu-se um terceiro tipo: os raios gama (γ) (FERRARO et al, 2010, p. 541).

Segundo eles, esse trecho evoca um entendimento de que os raios gama também teriam sido descobertos pelo cientista.

Mesmo que a descoberta da radiação gama seja citada no impessoal (“descobriu-se”), a conclusão dos alunos é certamente relevante, afinal, nessa passagem, o único sujeito em referência é Rutherford. Para alunos do ensino médio, existe a possibilidade de que se conclua que Rutherford também os tenha identificado. Paul Villard, físico francês, foi o primeiro a observar tal radiação, e isso é citado por C e G. Entretanto, não apenas Rutherford e Villard notaram as idiossincrasias de cada radiação. Os Curie e, principalmente, Becquerel, observaram características específicas das radiações alfa e beta, como seus comportamentos diferenciados em campos elétricos e magnéticos,

que ajudaram a consolidar a classificação primeiramente proposta por Rutherford, baseada nas suas capacidades de penetração.

Uma passagem que também chamou a atenção de muitos alunos (A, C, D, G e H) consta na introdução da seção sobre a radioatividade (FERRARO et al, 2010, p. 635), onde os autores discorrem sobre seu “batismo”. Como no exemplo anterior, pode-se notar que eles se eximem da citação da cientista que propôs a nomenclatura – Marie Curie – redigindo o trecho na voz passiva (“*Essa emissão espontânea foi denominada radioatividade*”). Assim, esses cinco alunos observaram a possível interpretação de que Becquerel – único nome citado no parágrafo em que se insere o trecho em questão – teria designado o fenômeno. Um dos alunos aponta inclusive para o fato de que, no parágrafo seguinte, os autores fazem referência a Marie e Pierre Curie.

Apesar de não haver menção explícita sobre quem batizou a nova descoberta, pelo curto parágrafo o entendimento que fica é de que o nome foi dado por Becquerel, quando na verdade quem assim chamou essa emissão foi Madame Curie. Considerando-se que já no parágrafo seguinte o texto menciona os Curie, fica caracterizado [sic] assim a despersonalização do termo radioatividade (ALUNO C, conjunto de questões).

Sendo a radioatividade um fenômeno de fronteira entre a física e a química, sua história não seria completa sem a referência sistemática a diversos químicos que ajudaram a construí-la. Mesmo em um relato histórico mais superficial, o nome de Frederick Soddy não pode ser negligenciado. Contudo, no livro analisado, se omite completamente esse grande pesquisador, que trabalhou em conjunto com Rutherford na teoria da desintegração dos elementos e, mais à frente, descobriu os isótopos. E para esse fato apontam os alunos D, G e H. O fato de Soddy ser reconhecidamente um químico não seria justificativa plausível para a omissão de seu nome, pois Marie e Pierre Curie são caracterizados no livro como um “*casal de químicos franceses*” (FERRARO et al, 2010, p. 635).

Esse equívoco na descrição do casal, interessante, não foi apontado por nenhum dos alunos. Entretanto, é de extrema importância ressaltar que Pierre era físico e sua esposa era física e matemática. É verdade que Madame Curie foi laureada com um Prêmio Nobel da Química em 1911; todavia, o mesmo aconteceu com Ernest Rutherford

em 1908, descrito por historiadores como Badash (1969) e Feldman (2000) como o maior físico experimental desde Faraday.

Dois alunos (E e F) não se limitaram a apontar unicamente exemplos de despersonalização, indicando também a passagem em que dois cientistas vastamente negligenciados – Hans Geiger e Ernest Marsden – são citados com propriedade no texto. Enfatiza-se que, nas segunda e terceira aulas do módulo, se abordou fortemente o experimento de espalhamento de partículas alfa, que foi construído, executado, tratado e publicado pelos dois físicos. Essa passagem histórica é de enorme relevância na física e na química, pois foi interpretando tal experimento que Rutherford propôs o modelo atômico nuclear. No livro didático utilizado pelos alunos na disciplina de Estrutura da Matéria I (EISBERG; RESNICK, 1979), objeto de análise da terceira aula do módulo, observa-se que os autores associam o experimento ao físico neozelandês. De sua formação e leituras anteriores, muitos alunos conheciam esse experimento como “experimento de Rutherford”; constatar que ele não foi o executor do experimento foi reportado por eles em aula como surpreendente. O estudante F discorre:

Interessante que neste livro é citado Rutherford com seus alunos H. Geiger e E. Marsden, onde na maioria dos livros seus alunos não são citados, dando, neste livro, parte da glória pelos descobrimentos aos três personagens (ALUNO F, conjunto de questões).

Assim como os estudantes E e F, o aluno I também aponta para a personalização do texto, neste caso de maneira mais ampla. Ele observa que os autores, em geral, tentam mencionar muitos cientistas, o que ajuda a não caracterizar o livro como completamente despersonalizado.

Deve-se ressaltar que observações mais amplas, como a do aluno I, não foram as eleitas pelos alunos, que, em geral, notaram omissões nos relatos históricos. Chevallard, entretanto, caracteriza a despersonalização como algo mais profundo, como a necessidade de desapropriar o conhecimento científico. Para garantir a cientificidade de um conhecimento e seu *status* de incontestável, é necessário que ele não esteja atrelado a nenhum cientista, que ele seja desapropriado.

Contudo, tamanha desapropriação é impossível quando se opta pela utilização da história da ciência, mesmo que seja de maneira

introdutória. Assim, a conclusão do aluno I é bastante coerente. A leitura do livro permite que o sistemático reconhecimento de grandes cientistas, que conceberam certos conceitos e fenômenos, seja possível. Entretanto, a ciência não é feita por alguns poucos gênios; é na realidade, uma atividade feita essencialmente em comunidade. Essa asserção é vastamente acordada entre os diversos filósofos da ciência pós-positivistas como Kuhn, Lakatos e Feyerabend. A simples menção a alguns cientistas, neste caso, pesa tanto quanto a vasta omissão das dezenas de outros cientistas, na interpretação de que a ciência é uma atividade destinada apenas a mentes (muito) privilegiadas – imagem esta que é, certamente, equivocada.

5.6.5 Que imagens (deformadas ou não) do trabalho científico o discurso do livro propaga?

O livro escolhido, como o próprio nome (Física – Ciência e Tecnologia) já sugere, pretende proporcionar, nas aulas de física, exemplos de contextualização, especialmente tecnológica e medicinal, daqueles conceitos e fenômenos tratados. Na apresentação, os autores explicam sua intenção.

Como surgiu a Física? De que maneira ela se apresenta em nosso cotidiano? Em que ela pode nos ajudar? Física – Ciência e Tecnologia pretende responder a essas perguntas e a outras, e mostra que a Física está presente em nosso dia-a-dia, na mídia e nas aplicações tecnológicas. Conduz o leitor a refletir sobre as vantagens e desvantagens que as tecnologias podem oferecer e mostra que as descobertas científicas são frutos de anseios e de necessidades pessoais. [...] Vários exemplos de aplicação da teoria são apresentados no livro, com o objetivo de auxiliar o aluno na resolução dos exercícios propostos. [...] Física – Ciência e Tecnologia reflete a preocupação dos autores em criar uma obra didática que seja referência para o estudante do ensino médio: que contribua para seu crescimento intelectual e, também, para que se conscientize do seu papel de cidadão” (FERRARO et al, 2010, apresentação).

Algumas seções, expostas de maneira separada do texto base do livro, são destinadas especificamente para o alcance desse objetivo. Elas são intituladas “Ciência, tecnologia e sociedade”, “O que diz a mídia!”, “Aplicação tecnológica” e “Você sabe por quê?”.

Para cinco alunos – B, E, F, H e I – essa característica não passou despercebida. Os estudantes B, E e F apontaram para a explicitação, no corpo da seção sobre raios X, das suas potencialidades medicinais. B e I corroboraram sua concepção com a utilização de passagens sobre a radiação gama e o uso de radioisótopos no tratamento do câncer. Ainda, B, E e H indicaram trechos em que os autores fazem menção à radioatividade e à física nuclear como grandes protagonistas no desenvolvimento social, bélico e tecnológico do século 20, mencionando, inclusive, os aceleradores de partículas. É muito importante frisar, entretanto, que as passagens do texto utilizadas para justificar suas respostas não vieram das seções especiais designadas pelos autores, mas pela própria redação do texto base da terceira aula do módulo.

Deve-se atentar para o sentido da relação entre ciência, tecnologia e sociedade, mais especificamente, nas seções sobre a radioatividade e outros fenômenos relacionados historicamente. De maneira geral, os autores mostram as tecnologias possibilitadas *após* as descobertas, desse modo omitindo necessidades sociais e tecnológicas que por ventura *motivaram* as pesquisas científicas. Apesar de muitos dos cientistas em questão não terem sido levados a pesquisar por interesses governamentais ou industriais, foram discutidos, na segunda aula do módulo, os fatores que levaram Frederick Soddy e Otto Hahn a estudar as emanções dos elementos radioativos e, em decorrência, a fazer grandes descobertas como os isótopos e a fissão nuclear. Apesar da forte ênfase da segunda aula do módulo no assunto, nenhum aluno demonstrou essa compreensão ao fazer a análise do livro.

Houve outra imagem da ciência que chamou a atenção de cinco alunos. E, F, G, H e I indicaram a propensão do livro a uma ideia aproblemática do trabalho científico.

De maneira muito interessante, o trecho “*Visto que essas radiações tinham partido do interior do átomo, era lógico concluir que os raios α e β eram constituídos por partes do átomo*” (FERRARO et al, 2010, p. 541), mencionado por seis alunos, também gerou posicionamentos divididos. Os estudantes E, F e G concluíram que tal passagem propaga uma ideia aproblemática do trabalho científico. Já os estudantes A, C e H defenderam que a partir dela se pode concluir que a ciência é acumulativa.

O aluno G sustenta seu posicionamento quanto ao referido trecho:

[A passagem acima é] Ahistórica pois não dá relevância aos problemas surgidos, que fica claro quando os autores usam a palavra *lógico* no trecho acima (ALUNO G, conjunto de questões, grifo dele).

Já o aluno C justifica sua interpretação acumulativa da passagem:

A passagem acima passa a impressão de que o conhecimento científico vai se acumulando naturalmente, a cada nova descoberta. Tomara como lógica a conclusão de que as radiações eram constituídas por partes do átomo, e que na sequência suas naturezas foram demonstradas, mascara a longa história de investigações e teorizações dos envolvidos nessas pesquisas, as quais se deram, em boa parte, sem um modelo de átomo bem estabelecido (ALUNO C, conjunto de questões).

A dificuldade de diferenciação entre as concepções equivocadas aproblemática (ou ahistórica) e acumulativa (de crescimento linear) foi relatada por Gil-Pérez et al (2001), no estudo referência desse módulo. Para esses autores, inclusive, as duas concepções são complementares. A diferença fundamental entre as duas reside em seus caracteres. Enquanto a ideia não-acumulativa da ciência demonstra uma característica externalista – onde grandes rupturas de conhecimentos estão em jogo –, concebe-se que a imagem histórica da ciência seria de natureza interna – quando os problemas que surgem durante as pesquisas científicas funcionam como propulsores para sua evolução. Enquanto uma ideia não-acumulativa estaria mais fortemente associada à filosofia da ciência de Thomas Kuhn, é Larry Laudan que advoga o papel fundamental dos problemas que invariavelmente surgem para a consolidação de uma teoria científica.

No entanto, o posicionamento mais adequado frente a esse trecho de Ferraro et al (2010) parece ser o de que ele (possivelmente) propaga uma ideia aproblemática na construção de uma teoria. Não se pode atribuir aos estudos em questão a característica revolucionária descrita por Kuhn (1978), embora eles sejam mais claramente

compreendidos à luz da física moderna, produto de uma grande revolução científica. Nessa passagem, a dificuldade maior dos autores é de refletir a dinâmica complexa entre modelos atômicos e radioatividade. Os alunos tiveram a oportunidade de ler e discutir sobre os grandes problemas que essa dinâmica provocou, e que, ao serem solucionados pelos cientistas, esclareciam cada vez mais essa relação. De todas as palavras adequadas para a descrição dessa dinâmica, *lógico* seria a menos indicada dentro de uma perspectiva histórica. E foi exatamente esse o termo enfatizado por cinco (A, C, E, G e H) dos seis alunos que citaram o trecho.

Dentre os três alunos que atribuíram ao trecho que utiliza a palavra *lógico* uma característica acumulativa, dois deles – A e C – não forneceram nenhum exemplo, de qualquer outra ideia de ciência propagada pelo livro. Na entrevista, ambos foram questionados sobre outras possíveis ideias que, por ventura, passaram despercebidas. Nenhum dos dois conseguiu apresentar qualquer outro exemplo; contudo, as justificativas foram diferentes. O aluno C descreveu sua dificuldade em identificar outras imagens.

Eu lembro que nessa questão eu procurei bastante e eu não consegui enxergar uma imagem específica da ciência ao longo do texto [...] eu tentei procurar alguma outra, mas confesso que não consegui enxergar. [...] Parecia que ele não falava muito sobre a evolução dos conceitos [...] Parecia que ele já dava direto “ah, hoje o conceito é assim e acabou”. Fora uma ou duas linhas que mencionavam “o estudo começou com fulano-detal, mas hoje é assim” (ALUNO C, entrevista).

Sem perceber, o estudante C demonstra que o livro como um todo – e não apenas o trecho que ele apontou – propaga uma ideia de crescimento linear do conhecimento, utilizando sua história eventualmente como artefato introdutório. Entretanto, é clara a sua falha em reconhecer que, mais do que um mero produto da reorganização dos conhecimentos, essa é uma maneira implícita de passar uma imagem errônea da ciência.

Já o aluno A, quando questionado sobre o mesmo tema, diz claramente que não procurou por outras imagens. Sua ênfase, contudo, é no choque que a palavra *lógico* lhe causou.

Eu acho que foi o crítico [o uso do termo lógico]... se for comparar o que a gente conversou, no teu seminário, e como estava [sic] no texto, parecia meio que um insulto (ALUNO A, entrevista).

Vale ressaltar que o aluno H, interessadamente, apesar de interpretar o trecho acima como acumulativo, conseguiu apresentar um (bom) exemplo de discurso aproblemático. Ele observou que, na introdução histórica sobre as pesquisas em modelos atômicos nucleares, os autores narram que “*estudos posteriores mostraram que o núcleo atômico não é uma bolinha rígida, como foi imaginado inicialmente*” (FERRARO et al, 2010, p. 632). Essa maneira de descrever os estudos feitos por muitos cientistas acaba por esconder os problemas encontrados para adequar modelos atômicos aos resultados experimentais que surgiam sistematicamente. Para ele, este é um sinal de uma ideia de ciência aproblemática.

Dos alunos que identificaram corretamente o trecho que envolvia a palavra lógico como perpetuador da concepção aproblemática, E e F não mencionaram mais nenhum exemplo dessa característica. Já o aluno G, destacou mais uma passagem. Sobre a narrativa histórica feita pelos autores para introduzir a seção de radioatividade (FERRARO et al, 2010, p. 635), esse estudante indica que não há nenhuma menção ao fato que permitiu as pesquisas que levaram à descoberta da radioatividade – a conjectura de Henri Poincaré sobre a origem dos raios X na parte luminescente do tubo de Crookes. O problema gerado pelo desconhecimento da natureza das radiações X foi certamente essencial para as pesquisas de Becquerel com sais de urânio.

Analisando o texto de maneira geral, também o aluno I atribuiu a ele uma característica aproblemática.

Um dos pontos a serem primeiro debatidos [sic] seria no corpo do texto como um todo. Não observei em nenhum momento uma citação dos conceitos envolvidos com outros já fundamentados pela física dando a entender que os fenômenos dos objetos de estudo são analisados de forma independente de outros conhecimentos, deixando uma imagem muito analítica. Outro destaque é a omissão dos problemas encontrados pelos pesquisadores durante a elaboração dos conceitos neste caso contribui para a imagem ahistórica. Há indícios da análise como um

todo de que ela é algorítmica (ALUNO I, conjunto de questões).

A falta de uma referência direta a trechos da obra gera um sentimento de ambigüidade quanto à demonstração de entendimento do aluno dessas três concepções (analítica, aproblemática e algorítmica) de ciência. Sua descrição das ideias analítica e ahistórica do trabalho científico é muito bem feita, mas é insuficiente para se observar sua capacidade de identificação da característica aproblemática dentro do discurso. No caso do seu reconhecimento da imagem algorítmica, nota-se que não há sequer uma definição.

Em se tratando da concepção analítica, contudo, a justificativa dada por I demonstra satisfatoriamente sua compreensão e visão do discurso do livro. Além dele, G foi o único outro aluno a notá-la. O trecho utilizado para corroborar sua resposta, no entanto, não era coerente com a concepção. Gil-Pérez et al (2001) mencionam a dificuldade dos professores de identificar essa ideia da ciência como errônea, assim como a pouca quantidade de pesquisa feita pelos acadêmicos em ensino de ciências para contra-exemplificar essa concepção. Para os autores, parece natural na amostra estudada assumir que a ciência, hoje em dia, preocupa-se com as especificidades, em detrimento da busca por uma coerência global no corpo de conhecimentos. Entretanto, na filosofia da ciência enxerga-se a situação de maneira oposta, e nota-se na busca por um conhecimento coeso um valor epistêmico fortíssimo (KUHN, 1977).

Quatro alunos – B, G, H e I – apontaram para trechos em que o livro propaga uma ideia atórica da ciência. Todos eles observaram a importância dada aos experimentos de Roentgen para a radiação X, em detrimento de toda a pesquisa que vinha sendo feita sobre ionização de gases pela comunidade científica da época. Dois estudantes – G e I – mencionam também a palavra *acidentalmente*, utilizada para caracterizar a descoberta das radiações X. Contudo, pode-se compreender a omissão do restante dos alunos da palavra *acidentalmente* considerando a discussão anterior ao módulo, feita em um das aulas sobre Peduzzi (2008), em que se analisa em que termos se pode creditar a descoberta de Röntgen como acidental.

B e H citam também a passagem “*As experiências de Rutherford, em conjunto com seus alunos H. Geiger e E. Marsden, mostraram que o núcleo dos átomos pode ser considerado uma carga positiva pontual*” (FERRARO et al, 2010, p. 632) como propagadora da imagem atórica da ciência, com razão. O aluno B ainda aponta para

dois outros trechos com a mesma inclinação: “*Como veremos mais adiante, experimentos posteriores mostraram que a radiação alfa na verdade não é radiação, e sim núcleos de hélio emitidos por núcleos instáveis de elementos mais pesados [...]*” (FERRARO et al, 2010, p. 632) e

Após numerosos e cuidadosos procedimentos de separação e purificação de minérios radioativos, o casal [Curie] comunicou a descoberta de outros dois elementos espontaneamente radioativos, ainda desconhecidos (FERRARO et al, 2010, p. 635).

Este tipo de utilização superficial da história tem como efeito a omissão da relação muito complexa entre teoria e experimento. No caso do experimento – atribuído de maneira errada a Rutherford – de espalhamento de partículas alfa, ele foi feito para o estudo da natureza das partículas beta, inicialmente. Ao utilizar uma fonte de partículas alfa, em 1909, o resultado foi espantoso. Rutherford, professor encarregado do laboratório em que trabalhavam Geiger e Marsden, pôs-se a interpretar o fenômeno, que atacou por diversas perspectivas teóricas. Mesmo depois de propor o modelo atômico nuclear, o experimento foi repetido e reinterpretado, e sendo publicado em 1914 por Rutherford com o auxílio da noção de número atômico (GEIGER; MARSDEN, 1909; RUTHERFORD, 1911; GEIGER; MARSDEN, 1913; RUTHERFORD, 1914).

Para a identificação da natureza das partículas alfa, o processo durou ainda mais tempo: as pesquisas começaram em 1899, e a proposta conclusiva foi publicada apenas dez anos depois. Durante este tempo, diversos cientistas buscaram evidências veementes de que a partícula alfa fosse o hélio duplamente ionizado, hipótese que alguns já haviam aceitado.

Por fim, no caso do casal Curie, não foi após os numerosos procedimentos de separação que descobriram novos elementos radioativos. Essa hipótese foi concebida assim que Marie Curie propôs, com originalidade, que a radioatividade era uma característica atômica, e que certos minerais eram mais ativos do que deveriam ser por sua proporção de urânio e tório. Só então, puseram-se a enriquecer as amostras até conseguirem linhas espectrais de elementos ainda não conhecidas.

Ressalta-se aqui que essas mesmas passagens poderiam ser utilizadas pelos alunos para demonstrar um aspecto algorítmico nas

narrações históricas do livro. A concepção da existência de um método científico, que envolve uma sequência de passos, entretanto, não foi tratada por nenhum aluno além de I, que não o fez de maneira satisfatória.

Dos nove alunos entrevistados, apenas o estudante D não apresentou, em suas respostas, qualquer sinal de identificação de concepções sobre a ciência. Como sua opção de confecção das respostas (como uma pequena dissertação, ao invés de respostas às perguntas separadamente) e sua participação bastante ativa durante as aulas do módulo não demonstravam conclusivamente sua falta de compreensão acerca desse tema de inclinação mais filosófica, a pergunta “que imagens (deformadas ou não) do trabalho científico o discurso do livro propaga?”, constante do conjunto de questões, lhe foi feita na entrevista.

Acho que a própria ordem cronológica, que não é respeitada, já dá uma impressão errada, não consegue identificar o que veio antes do quê. Não necessariamente tem que ter uma ordem cronológica, mas no texto pode estar escrito [...] que os Curie vieram antes de Rutherford e que Rutherford foi influenciado pelos [estudos] dos Curie. Inclusive, acho que essa é uma imagem que é distorcida, é que ele fala de próton e depois ele fala da parte de meia-vida. Então dá uma impressão de que eles já sabiam as bases teóricas [...] (ALUNO D, entrevista).

Assim, de certa maneira, ele descreve uma característica do trabalho científico, de que ele não é lógico e linear como propagado no livro, como consequência de sua organização. Ao continuar, ele demonstra uma concepção da ciência que, apesar de soar inicialmente empírico-indutivista, pode ser interpretada, com o auxílio das observações desse aluno durante o módulo, como uma tentativa de demonstrar a relação mais complexa existente entre experimento e teoria, ponto enfatizado durante as aulas.

[...] e é justamente o contrário: essas bases teóricas foram desenvolvidas depois do trabalho experimental, e dá essa impressão de que todo experimento tem uma hipótese pro trás dele que é comprovada depois [...] (ALUNO D, entrevista).

Em relação aos exemplos propostos pelos alunos para exemplificar imagens da atividade científica, pode-se concluir que, apesar de se demonstrarem bastante presos às ideias errôneas mapeadas por Gil-Pérez et al (2001), as tentativas explícitas do livro de contextualização tecnológica não passaram despercebidas pelos alunos. Ainda, é possível notar que outras características mais sofisticadas do trabalho científico, trabalhadas especialmente na segunda aula do módulo, como a busca pela coerência global e a investigação do pensamento divergente não foram mencionadas. Contudo, não se pode avaliar de maneira negativa suas respostas, pois pela primeira vez, fizeram uma análise como esta. A ampla variedade de exemplos e a recorrente associação com a história da radioatividade, conforme discutida em sala de aula, por si só, são claros indícios de que o primeiro ensaio desses alunos foi bastante proveitoso e satisfatório.

5.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pela primeira vez em suas formações, cinco dos dez alunos – aqueles matriculados no bacharelado – tiveram contato com os termos da Transposição Didática. E também pela primeira vez, todos eles foram levados a exercitar uma análise dos conteúdos historicamente relacionados à radioatividade em um livro didático com o auxílio da história da ciência. Por fim, todos tiveram contato, discutiram e identificaram certas deformações do trabalho científico que, por ventura, se apresentaram no objeto de análise. No entanto, esse exercício foi direcionado especificamente para os conteúdos de radioatividade (e historicamente relacionados). Em função desse estudo, cabe indagar que possibilidades os alunos vislumbraram no sentido de utilizar uma análise semelhante em outros contextos.

Essa pergunta, feita durante a entrevista, trouxe respostas altamente satisfatórias. Os alunos B, C, D, E, F, G e H afirmaram que sua capacidade de identificação desses processos poderia, sim, ser generalizada para outros conteúdos. De maneira ainda mais importante, C, D, F, H e I demonstraram achar de bastante valia o exercício proposto. Conforme os alunos C e I:

Ajudou, ajudou! Até porque atentou para o problema. Eu confesso que até o momento, e apesar de ter tido curiosidade várias vezes sobre a história da ciência [...] eu nunca tinha atentado para isso nos livros didáticos, em como os conceitos estão fora de

seu habitat natural. Então, para mim, ajudou. Mesmo em outros livros, dá para perceber essa mudança (ALUNO C, entrevista).

Sim! Sempre que eu olhava os livros eu notava que alguma coisa não estava boa, mas identificar realmente o problema eu não conseguia. Agora com certeza [o exercício me] ajudou bastante, até para generalizar [...] (ALUNO I, entrevista).

Um dos estudantes, A, entretanto, afirmou que apenas esse exercício não era o suficiente para que ele conseguisse se posicionar mais criticamente quanto ao livro didático, enfatizando a necessidade de outras análises. Para ele, esse não foi um ensaio fácil.

Dois outros alunos – G e H – também apontaram para a complexidade do exercício proposto, explicitando o tempo que dedicaram para terminá-lo. Apontaram também, juntamente aos estudantes E e F – para o papel essencial de um conhecimento sólido em história da ciência.

Assim, quando questionados sobre as possibilidades de amenização das lacunas deixadas no conhecimento pelo livro didático, todos os nove alunos entrevistados levantaram a importância do professor, corrigindo e complementando livros didáticos, no que for necessário, e sugerindo uma variedade de leituras complementares. E esse é exatamente o ponto crucial dessa proposta de exercício. Os professores, dentre outras coisas, precisam de uma formação adequada em história da sua ciência para que possam, ao menos, reconhecer os saberes expostos no livro didático e as lacunas que ele pode trazer, especialmente em relação à história da ciência e às concepções do trabalho científico. Não se pode atribuir completamente a culpa ao livro didático das dificuldades de se transmitir uma imagem adequada do conhecimento científico. O professor também é ator fundamental no ensino de ciências e sobre ciências. O aluno F, contudo, lembrou que a formação dos bacharéis não prepara para a sala de aula – mesmo que, na conjuntura nacional atual, a maior parte dos cientistas esteja em universidades e tenha como uma de suas obrigações a atividade docente.

De maneira muito interessante, os alunos G e H fazem menção também ao papel do discente na complementação de seu conhecimento. Apontam para a importância da vontade de aprender do aluno – tanto do ensino médio, como do ensino superior – e, para tanto, da necessidade da busca de novas fontes de informação e conhecimento. Essa posição

mostra que eles, como professores em formação, notam também que o aluno é fundamental no processo de ensino-aprendizagem. Em outro momento da entrevista, o estudante D demonstra ter opinião semelhante à de seus colegas e enfatiza:

Eu acho fundamental isso de fazer crítica a livro didático até para as pessoas do bacharelado, porque eu acho que crítica de livro didático não é uma coisa só para professor. Você tem que entender que quem escreveu o livro tinha uma visão de ciência e às vezes ela transparece de uma maneira que não é a melhor possível. Eu acho interessante ter outras leituras complementares, assim, como biografias de cientistas (ALUNO D, entrevista).

Os alunos C e E, no entanto, afirmaram que não reconhecem a importância da história da ciência para o ensino estritamente conceitual. Porém, embora defendessem veementemente que esse tipo de ensino não precise passar pela história dos fenômenos em tratamento, apreciaram o papel fundamental de uma disciplina de história da ciência em suas formações.

Quando e como tratar a história da ciência no ensino superior certamente não é fácil, pois obriga que algumas opções sejam feitas. A ordem supostamente lógica de um livro didático dificilmente satisfará a necessidade de uma compreensão sólida da história da ciência. A opção mais viável é, certamente, a existência de um espaço dedicado especificamente a tais discussões, como é o caso da disciplina de Evolução dos Conceitos da Física ou outras correlatas. Mais ainda, é fundamental que paralelos entre o que já foi aprendido conceitualmente e a história desses fenômenos sejam feitos, não apenas para a construção de uma melhor compreensão do trabalho científico, mas para a formação de professores capazes de identificar e discorrer sobre alguns aspectos da natureza ciência, presentes em livros didáticos ou mesmo na mídia escrita e falada.

Invariavelmente se encontrará lacunas nos livros didáticos, segundo a variedade de objetivos listados para o ensino de ciência. Talvez, inclusive, a tarefa de produção de livros didáticos perfeitos sob todos os pontos de vista - por exemplo, que contemplem a história e a filosofia da ciência, que sejam capazes de contextualizar social e tecnologicamente, que abordem todos os fenômenos da física clássica e moderna - seja utópica, ou árdua demais para sequer ser possível. São as

variáveis humanas do sistema didático – aluno e, especialmente, professor – que devem fazer as complementações necessárias. Só dessa maneira, um ensino *de* e *sobre* ciências será possível.

REFERÊNCIAS

BADASH, L. **Rutherford and Boltwood: Letters on Radioactivity**. 377 p. New Haven e Londres: Yale University Press. 1969.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, dez 2010a.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. **Artigo submetido a publicação**, 2010b.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. Consequências das descontextualizações em um livro didático: uma análise do tema radioatividade. **Artigo submetido a publicação**, 2010c.

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. A contextualização nos saberes científicos escolares e a importância da etapa interna da transposição didática. **Artigo submetido a publicação**, 2010d.

CHEVALLARD, Y. **La transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné**. La Pensée Sauvage Éditions, 1991.

CURIE, E. **Madame Curie**. Tradução: Monteiro Lobato. 11 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1962.

EISBERG, R., RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FELDMAN, B. **The Nobel Prize**. 1. ed. Nova York: Arcade Publishing, 2000.

FERRARO, N. G. et al. **Física – Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Moderna, volume único, 2010.

FREEDMAN, M. I. Frederick Soddy and the Practical Significance of Radioactive Matter. **The British Journal for the History of Science**. v. 12, n. 42. 1979.

GEIGER, H., MARSDEN, E. On a diffuse reflection of the alpha particles. **Proceedings of the Royal Society**. Londres, v. 82, p. 495 – 500, 1909.

GEIGER, H., MARSDEN, E. The Laws of deflexion of alpha particles through large angles. **Philosophical Magazine**, s. 6, v. 25, n. 148, abr. 1913.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, São Paulo, v.7, n.2, p. 125 – 154, 2001.

KRAGH, H. The origin of radioactivity: from solvable problem to unsolvable non-problem. **Archive for History of Exact Sciences**, Berlin/Heidelberg, v. 50, n. 3-4, set. 1997.

KRAGH, H. Conceptual changes in chemistry: the notion of a chemical element ca. 1900 – 1925. **Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, v.31, n.4, dez. 2000.

KUHN, Thomas. Objetividade, juízo de valor e escolha teórica. IN: **A Tensão Essencial**. Lisboa, Edições 70, pp. 383-405, 1977.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1978.

MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 7 (numero especial), p. 27 – 45, 1990.

MARTINS, R. A. Becquerel and the Choice of Uranium Compounds. **Archives for History of Exact Sciences**, Berlin/Heidelberg, v. 51, n. 1, p. 67-81, mar. 1997.

MARTINS, R. A. As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos. **Revista da SBHC**, n. 1, p. 29 – 41, 2003.

MARTINS, R. A. Ciências versus historiografia: os diferentes níveis discursivos nas obras sobre história da ciência. In: ALFONSO-GOLDFARB, A. M; BELTRAN, M. H. R. (eds). **Escrevendo a História da Ciência: tendências, propostas e discussões historiográficas**. São Paulo: EDUC / Livraria da Física / FAPESP, 2005, p. 115 – 145.

MATTHEWS, M. R. History, philosophy, and science teaching: the present rapprochement. **Science&Education**, 1(1), 11-47, 1992.

MCGRAYNE, S. B. **Mulheres que ganharam o Prêmio Nobel em Ciências: suas vidas, lutas e notáveis descobertas**. Tradução: Maiza F. Rocha e Renata Brant de Carvalho. São Paulo: Marco Zero, 1995.

OWENS, T. Going to school with Madame Curie and Mr. Einstein: gender roles in children's science biographies. **Cultural Studies of Science Education**, Holanda. Publicado online, fev. 2009. Disponível em <www.springerlink.com> Acesso em: 17 mai. 2009.

PASACHOFF, N. **Marie Curie and the science of radioactivity**. Oxford University Press, 1996. Disponível em: <<http://www.aip.org/history/curie/contents.htm>> Acesso em: 17 mai. 2009.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Publicação interna. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 202 p.

PEDUZZI, L. O. Q.; CORDEIRO, M. D.; NICOLLODELLI, D. **Hipermídia: Evolução dos Conceitos da Física**. UFSC/EAD/CED/CFM, 2011 (ISBN: 978-85-8030-015-4).

RUTHERFORD, E. The scattering of alpha and beta particles by matter and the structure of the atom. **Philosophical Magazine**, s. 6, v. 21, p. 669 – 688, mai. 1911.

RUTHERFORD, E. The Structure of the Atom. **Philosophical Magazine**, s. 6, v. 27, p. 488 – 498, mar. 1914.

RUTHERFORD, E. The Chemical Nature of the Alpha Particles of the Radioactive Substances. In: **Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1966.

RUTHERFORD, E.; SODDY, F. The cause and nature of Radioactivity. **Philosophical Magazine**, v. 4, p. 370 – 396, 1902.

SODDY, F. The origins of the concetions of Isotopes. In: **Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921**. Amsterdam: Elsevier, 1966.

TRIVIÑOS, A. N. S. Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987, 175 p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Futuros físicos e professores de física, em sua formação, apreendem as teorias da física a partir de uma abordagem fortemente conceitual. Nas aulas, são abordados conceitos e fenômenos, realizados experimentos, e resolvidos problemas exemplares, de modo a familiarizar o aluno com os paradigmas aceitos. Como bem aponta Zylbersztajn (1998), com base no referencial kuhniano, essa tradição, apesar de suas deficiências, tem papel fundamental no quadro de formação de cientistas – e também de professores.

Compreende-se, entretanto, que uma boa formação de cientistas e professores passa necessariamente por conhecimentos da história e da filosofia da ciência, e de sua relação com outros empreendimentos como, por exemplo, a tecnologia. Isto, que Matthews (1995) entende ser o conhecimento *sobre* ciência, vem sendo largamente difundido dentro da comunidade acadêmica de ensino de ciências (EL-HANI; TAVARES; ROCHA, 2004; DUARTE, 2004; PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007; TEIXEIRA; FREIRE JR; EL-HANI, 2009). Contudo, as disciplinas regulares dos cursos de física, quando não negligenciam por completo, conferem pouco espaço à história e à filosofia da ciência. Assim, é em disciplinas específicas de caráter histórico-filosófico, que essa lacuna pode ser suprimida (NICOLODELLI, 2011).

A presente pesquisa, desenvolvida na disciplina Evolução dos Conceitos da Física, do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, foi voltada para dar respostas as seguintes questões:

Que aspectos históricos, filosóficos e conceituais devem constar em um texto sobre a radioatividade, dirigido ao aluno de uma disciplina de história da física? Como eles podem auxiliar na compreensão contextualizada deste fenômeno?

No delineamento do estudo, escolheu-se como referencial educacional a Transposição Didática de Chevallard. Essa teoria possibilitou o exercício e a reflexão de dois panoramas sobre o espaço da história da física no ensino de física. Primeiramente, com a transposição didática externa, foi possível compreender as dificuldades dos livros didáticos de abordarem, de maneira simultânea e satisfatória, os conceitos da física e a história da física. Com a etapa interna da transposição didática, pode-se então localizar, na figura do professor, o potencial para reconhecer e trabalhar as deficiências históricas e filosóficas recorrentes nos manuais didáticos. O referencial epistemológico fundamentou essas discussões.

Assim, considerando-se as imagens deformadas do trabalho científico frequentes nos discursos de professores e livros, mapeadas por Gil-Pérez et al (2001), procurou-se nas teorias da ciência pós-positivistas, defendidas por filósofos como Kuhn, Feyerabend e Bachelard, subsídios para contraexemplificá-las

Tendo em vista a importância do professor dentro do quadro da transposição didática interna e as dificuldades que esses profissionais demonstram, segundo Gil-Pérez et al (2001), em reconhecer no trabalho científico certos consensos entre as filosofias da ciência mais atuais, elegeu-se o futuro professor e pesquisador como foco da pesquisa. Assim, para a consecução de seu objetivo geral – fornecer subsídios históricos e filosóficos para que a compreensão sobre a radioatividade do aluno de física extrapole a exposição descontextualizada presente nos livros de Estrutura da Matéria ou afins – a dissertação foi estruturada em quatro etapas distintas, das quais resultou a redação de cinco artigos, correspondentes aos cinco capítulos de seu texto. Então, localizou-se e se justificou a possível fonte de distorções epistemológicas, e apontar para a importância latente da boa formação do professor, para agir de maneira a propiciar conhecimentos históricos e filosóficos que, por ventura, se encontrem em defasagem nos manuais didáticos.

Estudou-se, então, a história da radioatividade, a partir de trabalhos clássicos dos cientistas envolvidos nos seus períodos de gênese e desenvolvimento, como Marie e Pierre Curie, Rutherford, Soddy e Ramsay, entre outros. Associando esses trabalhos a pesquisas de reconhecidos historiadores da ciência, foi possível encontrar contra-exemplos às sete distorções do trabalho científico.

Através da história da radioatividade, de considerações de natureza filosófica e da compreensão dos processos de transposição didática externa, foi possível analisar a inserção desse tema de física no livro de Eisberg e Resnick (1979) – uma bibliografia de referência em disciplinas de estrutura da matéria nos cursos de física.

Na última etapa, e com o auxílio das quatro capítulos anteriores, foi possível elaborar um módulo sobre a radioatividade, sua história e sua transposição didática para a disciplina de Evolução dos Conceitos de Física. Ele se constituiu de três aulas, nas quais os capítulos 2, 3 e 4 desta dissertação foram a base bibliográfica. Os alunos foram convidados a discutir, a partir da história da radioatividade, os aspectos da atividade científica e, então, a observar as dissonâncias entre a história e o conteúdo presente no livro didático que usaram na disciplina de Estrutura da Matéria.

Além das aulas, realizou-se uma avaliação sobre a compreensão dos alunos quanto à história e à transposição didática da radioatividade. Uma análise de dados foi feita entre as observações em sala de aula, um conjunto de questões e entrevistas semi-estruturadas. Com ela, observou-se a boa compreensão dos alunos acerca da história da radioatividade, de algumas características da atividade científica e, de maneira mais contundente, da transposição didática externa da radioatividade. Talvez o ponto mais interessante do módulo inserido e de sua avaliação foi poder ver nascer, nos próprios alunos, uma maior clareza quanto à importância da formação em história e filosofia da ciência para suas (futuras) práticas docentes e investigações científicas.

Que possibilidades esta pesquisa traz para futuros trabalhos? Em primeira instância, ela aponta a escassa produção acerca da radioatividade e, especialmente, de sua história. O estudo do fenômeno permite diversas óticas, como, por exemplo, a partir de relações entre ciência, tecnologia e sociedade. Ainda, as vantagens para o ensino de Química são tão frutíferas quanto para a Física, por permitir uma construção do modelo de átomo mais aceito atualmente. E, como não poderia deixar de ser citado, possibilita a discussão acerca da figura feminina na ciência, pois tem, dentre seus expoentes, três mulheres cujas contribuições são inestimáveis: Marie Curie, sua filha, Irène Joliot-Curie e Lise Meitner. Sendo o ano de 2011 o Ano Internacional da Química, em homenagem ao centenário do segundo Prêmio Nobel atribuído à Madame Curie, esta discussão parece emergir ainda mais na comunidade acadêmica de ensino de ciências.

Um segundo foco que possibilita ainda mais perspectivas de pesquisas reside, especialmente, na capacidade de uma boa formação em história e filosofia da ciência para o reconhecimento dos processos de didatização. Para esta pesquisa, escolheu-se tratar do espectro de conhecimentos físicos (e, por vezes, químicos) relacionado diretamente à história da radioatividade, ou, em um termo recorrentemente utilizado neste trabalho, seu contexto sincretizado (ou conceitual de origem). Assim, não apenas a radioatividade foi objeto desta pesquisa, mas também as radiações X, isótopos e, de maneira ainda mais contundente, os modelos atômicos. Mas, tendo em vista a ressonância da análise de Chevallard (1991) com os livros didáticos ainda largamente usados nos cursos de física do país, como o de Eisberg e Resnick (1979) ou Halliday et al (2009), pode-se dizer que há muitas lacunas geradas pelas descontextualizações atuadas sobre os mais diversos conhecimentos físicos, e não apenas naqueles relacionados à radioatividade. Assim, reafirma-se aqui o papel essencial de uma disciplina de história da física

que seja capaz de fazer emergir tais discussões – nas mais variadas teorias da física – enquanto o objetivo educacional mais geral para o ensino de ciências ainda for uma busca por maiores contextualizações – históricas, filosóficas, sociais ou tecnológicas.

Matthews (1995, p. 165) defende que história e filosofia da ciência na formação do professor pode auxiliar “[n]o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências, bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas.” Com os resultados desta pesquisa, parece que o argumento do autor pode ser até mesmo expandido. Ao compreender a estrutura e o espaço das ciências na conjuntura geral atual, o professor não apenas amplia seus horizontes, mas tem a grande possibilidade de, se bem instruído, reconhecer seu papel em sala de aula, melhorar sua prática, buscar por novas fontes bibliográficas para, enfim, atrair o aluno a este que é um empreendimento indissociável da sociedade moderna.

REFERÊNCIAS

CHEVALLARD, Y. **La transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné.** La Pensée Sauvage Éditions, 1991.

DUARTE, M. C. A História da Ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. **Ciência & Educação:** São Paulo, v. 10, n. 3, p. 317 – 331, 2004.

EISBERG, R., RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas.** Rio de Janeiro: Campus, 1979.

EL-HANI, C. N.; TAVARES, E. J. M.; ROCHA, P. L. B. Concepções epistemológicas dos estudantes de Biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre história e filosofia da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências,** v. 9, n. 3, p. 265 – 313, 2004.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação,** São Paulo, v.7, n.2, p. 125 – 154, 2001.

HALLIDAY, D. et al. **Fundamentos de Física.** Rio de Janeiro: LTC. 8ª Ed, v. 1, 2, 3, 4; 2009.

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, dez. 1995.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação*, v. 13, n. 2, p. 141 – 156, 2007.

TEIXEIRA, E. S.; FREIRE JR, O.; EL-HANI, C. N. A influência de uma abordagem contextual sobre as concepções acerca da natureza da ciência de estudantes de física. **Ciência & Educação**: São Paulo: v. 15, n. 3, p. 529 – 556, 2009.

ZYLBERSZTAJN, A. Resolução de problemas: uma perspectiva kuhniana. In: Atas VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis, 1998.